图解经典
电动机控制电路105例

TUJIE JINGDIAN
DIANDONGJI
KONGZHI DIANLU
105 LI

周志敏
纪爱华 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE

Caliente.COM

图解经典电动机控制电路105例

周志敏　纪爱华　等编著



机 械 工 业 出 版 社

为满足工矿企业及农村电工在电动机运行、操作、维护、检修工作中所必须掌握的电动机控制电路的识图和实际操作技能，本书结合电动机控制技术的发展和应用，选取了105例电动机经典控制电路，系统地介绍了电动机直接起动控制电路、电动机制动控制电路、电动机减压起动控制电路、电动机软起动及调速控制电路、电动机PLC控制电路等内容。在电动机控制电路的讲解上，采用图文结合的形式，深入浅出地阐述了电动机实用控制电路设计、应用和电工识图技能。全书文字通俗易懂、图文并茂、电路实用、内容新颖，是工矿企业及农村电工掌握电动机控制技术的必备读物。

本书可供具有初中以上文化水平的工矿企业和农村电工阅读；也可供相关电工培训和职业技术学院的师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

图解经典电动机控制电路105例/周志敏等编著. —北京：机械工业出版社，2012.9

ISBN 978-7-111-39887-5

Ⅰ.①图… Ⅱ.①周… Ⅲ.①电动机-控制电路-图解 Ⅳ.①TM320.12-64

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第229869号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
策划编辑：林春泉 责任编辑：李振标
版式设计：姜 婷 责任校对：程俊巧
责任印制：张 楠
北京京丰印刷厂印刷
2013年1月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·12.25印张·301千字
0 001—3 000册
标准书号：ISBN 978-7-111-39887-5
定价：29.90元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：(010)88361066	教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：(010)68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：(010)88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010)88379203	**封面无防伪标均为盗版**

前　　言

在现代工农业生产过程中，电动机控制电路处于极其重要的地位。由于电动机控制技术的广泛应用，提高了工农业生产过程的安全、可靠、经济运行和自动化水平。为此电动机控制电路的设计、运行、维护和检修水平，将直接影响工农业生产过程的可靠性和生产的连续性，为此要求工矿企业及农村电工掌握电动机控制技术和实际操作技能。

随着我国电器工业和电力电子技术的发展，电动机控制电路已从常规的继电器—接触器控制发展到今天的由 PLC 完成的程序控制；电动机的减压起动电路，由常规的电动机定子绕组串电阻（电抗）起动、星-三角起动、自耦变压器减压起动方式，发展为具有智能功能的软起动方式，交流异步电动机调速由电磁、液耦、多速电机发展为变频调速。针对电动机控制技术的发展和应用，为了提高工矿企业及农村电工队伍的技术素质，本书在编写中以电动机实用控制电路为主线，将工矿企业及农村电工应掌握的电动机常规和现代控制技术的基础知识与电动机实用控制电路融为一体，掌握电动机控制电路的原理和特性，并应用到生产实践中去，以起到学习和应用的互动作用。

书中讲解的电动机控制电路在做到有针对性和实用性的同时，也力求简捷、易于设计和与工程实际应用相结合。读者在学习中可把书中讲解的电动机控制电路直接或部分修改应用到工作实践中。

本书在保证科学性的同时，注重通俗性。读者可以全面地了解电动机控制电路的基础知识，并掌握电动机控制电路的设计与应用技能。

参加本书编写工作的有周志敏、纪爱华、周纪海、纪达奇、刘建秀、顾发娥、纪达安、纪和平、刘淑芬等，本书在写作过程中，无论从资料的收集和技术信息交流上，都得到了国内的专业学者和同行及软起动器、变频器、PLC 制造商的大力支持。在此表示衷心的感谢。

由于时间短，水平有限，难免有错误之处，敬请读者批评指正。

作　者

2012 年 7 月

目　　录

前言
第 1 章　电动机直接起动控制电路 …… 1
实例 1　三相异步电动机直接起动控制电路 …… 1
实例 2　三相异步电动机直接起动接触器点动控制电路 …… 1
实例 3　电动机直接起动单向点动控制电路 …… 2
实例 4　电动机直接起动单向运行控制电路 …… 2
实例 5　用倒顺开关控制三相异步电动机直接起动正反转电路 …… 4
实例 6　接触器联锁的三相异步电动机直接起动正反转控制电路 …… 5
实例 7　按钮联锁的三相异步电动机直接起动接触器正反转控制电路 …… 6
实例 8　双重联锁的三相异步电动机直接起动正反转控制电路 …… 7
实例 9　电动机直接起动连续与点动混合控制的正转控制电路 …… 8
实例 10　电动机直接起动顺序控制电路 …… 9
实例 11　工作台自动往返控制电路 …… 14
实例 12　带有点动的自动往返控制电路 …… 16
实例 13　电动机直接起动多地控制电路 …… 17
实例 14　电动机空载自动停机及断相保护控制电路 …… 19
实例 15　安全型单按钮控制电动机直接起停电路 …… 21
实例 16　单按钮控制电动机直接起停电路 …… 22
实例 17　电动机多条件直接起动控制电路 …… 22
实例 18　电动机直接起动多保护控制电路 …… 23
实例 19　三相异步电动机直接起动，正、反转点动控制电路 …… 23
实例 20　按钮联锁的电动机直接起动正反转控制电路 …… 24
实例 21　接触器联锁的电动机直接起动正反转控制电路 …… 24
实例 22　双重联锁电动机直接起动正反转控制电路 …… 25
实例 23　两地控制电动机直接起动可逆起动电路 …… 26
实例 24　电动机直接起动可逆带限位控制电路 …… 27
实例 25　电动机直接起动可逆运行自动往返控制电路 …… 28
实例 26　电动机直接起动安全自动往复控制电路 …… 29
实例 27　电动机直接起动自动延时往返控制电路 …… 29
实例 28　双速电动机直接起动控制电路 …… 30
实例 29　双速电动机直接起动自动加速控制电路 …… 31
实例 30　多台电动机顺序直接起动控制电路 …… 31
第 2 章　电动机制动控制电路 …… 34
实例 1　电磁抱闸制动控制电路 …… 34
实例 2　电动机电磁离合器制动控制电路 …… 36
实例 3　电动机短接制动控制电路 …… 37
实例 4　电动机单向起动反接制动控制电路 …… 37

实例 5　电动机可逆运行反接制动控制电路 …… 41
实例 6　无需中间继电器的电动机可逆运行反接制动控制电路 …… 46
实例 7　电动机能耗制动控制电路 …… 47
实例 8　电动机无变压器半波整流能耗制动自动控制电路 …… 48
实例 9　电动机无变压器半波整流能耗制动手动控制电路 …… 50
实例 10　电动机半波整流能耗制动控制电路 …… 51
实例 11　电动机有变压器全波整流能耗制动控制电路 …… 52
实例 12　电动机全波能耗制动控制电路 …… 53
实例 13　电动机有变压器的全波整流能耗制动控制电路 …… 54
实例 14　电动机桥式能耗制动控制电路 …… 54
实例 15　电动机复合按钮与时间控制能耗制动控制电路 …… 55
实例 16　电动机按时间控制单向运行能耗制动控制电路 …… 55
实例 17　电动机按时间控制可逆运行能耗制动控制电路 …… 56
实例 18　电动机按速度控制单向运行能耗制动控制电路 …… 57
实例 19　电动机按速度控制可逆运行能耗制动控制电路 …… 58
实例 20　电动机带有能耗制动反转控制电路 …… 58
实例 21　电动机短接制动控制电路 …… 60
实例 22　电动机反接制动控制电路 …… 61
实例 23　电动机单向减压起动及反接制动控制电路 …… 62
实例 24　电动机电容制动控制电路 …… 64
第 3 章　电动机减压起动控制电路 …… 66
实例 1　电动机定子串电阻减压起动手动控制电路 …… 66
实例 2　电动机定子串电阻减压起动自动控制电路 …… 68
实例 3　电动机手动控制Y/△减压起动控制电路 …… 70
实例 4　电动机Y/△减压起动自动控制电路 …… 73
实例 5　电动机正反转Y/△减压起动控制电路 …… 81
实例 6　电动机⊿/△减压起动控制电路 …… 82
实例 7　电动机手动自耦变压器减压起动电路 …… 84
实例 8　电动机手动控制补偿器电路 …… 84
实例 9　电动机自动控制自耦变压器起动电路 …… 85
实例 10　补偿器用中间继电器控制电路 …… 86
实例 11　补偿器用时间继电器控制电路 …… 86
实例 12　补偿器用时间继电器与中间继电器控制电路 …… 87
实例 13　80kW 电动机及以上的补偿器控制电路 …… 87
实例 14　电动机自耦变压器减压起动控制电路 …… 89
实例 15　绕线转子异步电动机转子回路串电阻起动控制电路 …… 100
实例 16　绕线转子异步电动机转子回路串频敏变阻器起动控制电路 …… 101
实例 17　用凸轮控制器控制绕线转子异步电动机控制电路 …… 105
实例 18　绕线转子异步电动机起动和调速控制电路 …… 106
第 4 章　电动机软起动及调速电路 …… 109
实例 1　WITR 系列软起动器应用电路 …… 109
实例 2　XPR1-3000 系列软起动器应用电路 …… 113
实例 3　WJR 旁路型三相电动机软起动应用电路 …… 122

实例4 电动机软起动电路 …… 125
实例5 风机变频调速电路 …… 127
实例6 安川VS616G5变频器拖动多台风机调速电路 …… 129
实例7 施耐德Altivar38变频器拖动鼓风机电路 …… 130
实例8 明电THYFREC-VT210S变频器拖动空调通风机电路 …… 133
实例9 空气压缩机的变频调速电路 …… 135
实例10 变频恒压供水控制电路 …… 136
实例11 变频器拖动热电厂给水泵调速电路 …… 138
实例12 三菱FR变频器拖动中央空调冷冻泵调速电路 …… 139
实例13 西门子ECO变频器拖动疏水泵调速电路 …… 142
实例14 西门子MM440变频器拖动给水泵调速电路 …… 144
第5章 PLC控制电动机电路 …… 149
实例1 PLC控制电动机单向点动电路 …… 149
实例2 PLC控制电动机一个按钮起停电路 …… 151
实例3 PLC控制电动机点动、连续正转电路 …… 153
实例4 PLC控制电动机连续正转控制电路 …… 158
实例5 PLC控制电动机正、反转控制电路 …… 159
实例6 PLC控制电动机正、反转复合联锁控制电路 …… 162
实例7 PLC控制电动机正、反转接触器联锁控制电路 …… 163
实例8 PLC控制三层传送带顺序起停电路 …… 164
实例9 PLC控制三台电动机间歇运行电路 …… 166
实例10 PLC控制两台或更多的电动机按一定顺序运行电路 …… 167
实例11 PLC控制三台电动机顺序起动电路 …… 169
实例12 PLC控制工作台自动往返电路 …… 170
实例13 PLC控制电动机自动往返电路 …… 172
实例14 PLC控制电动机Y/△起动电路 …… 173
实例15 PLC控制电动机Y/△减压起动能耗制动电路 …… 179
实例16 LOGO控制电动机自耦减压起动电路 …… 181
实例17 OMRONPLC控制电动机的正反转电路 …… 184
实例18 OMRONPLC控制电动机Y/△减压起动电路 …… 185
实例19 PLC控制直流电动机减压起动能耗制动电路 …… 186
参考文献 …… 189

第 1 章　电动机直接起动控制电路

实例 1　三相异步电动机直接起动控制电路

三相异步电动机直接起动控制电路如图 1-1 所示，图 1-1 所示电路简单、元件少，低压断路器 QS 用于过载保护，熔断器主要作短路保护。因此，该电路对于容量较小，起动不频繁的电动机来说，是经济方便的起动控制方法。

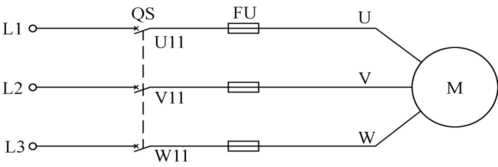


图 1-1　三相异步电动机直接起动控制电路图

在确认安装牢固，接线无误后，先接通三相总电源，再合上低压断路器 QS，电动机应正常起动和平稳运转。若熔丝熔断（可看到熔心顶盖弹出）则应断开电源，检查分析并排除故障后才能够重新合上电源。在图 1-1 所示电路中，元器件规格参数见表 1-1。

表 1-1　元器件规格参数

代号	名　称	型号	规格	数量	备注
QS	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体 3A	3	
M	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	1	

实例 2　三相异步电动机直接起动接触器点动控制电路

三相异步电动机接触器点动控制电路如图 1-2 所示。图 1-2 所示电路可分成主电路和控制电路两部分。主电路从电源 L1、L2、L3、低压断路器 QS、熔断器 FU、接触器触头 KM 到电动机 M。控制电路由按钮 SB 和接触器线圈 KM 组成。

当合上电源开关 QS 时，电动机是不会起动运转的，因为这时接触器 KM 的线圈未通电，它的主触头处在断开状态，电动机 M 的定子绕组上没有电压。若要使电动机 M 运转，只要按下按钮 SB，使线圈 KM 通电，主电路中的主触头 KM 闭合，电动机 M 即可起动运转。但当松开按钮 SB 时，线圈 KM 即失电，而使主触头分开，切断电动机 M 的电源，电动机停转。这种只有当按下按钮电动机才会运转，松开按钮停转的电路，称为点动控制电路。

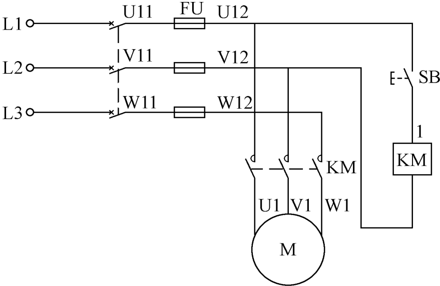


图 1-2　三相异步电动机接触器点动控制电路

检查接线无误后，接通交流电源，合上开关 QS，此时电动机不转，按下按钮 SB，电动机即可起动，松开按钮电动机停转，若电动机不能点动控制或熔丝熔断等故障，则应分断电源，分析排除故障后使之正常工作。图 1-2 所示电路中元器件规格参数见表 1-2。

表1-2 元器件规格参数

代号	名　　称	型号	规格	数量	备注
QS	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体3A	3	
KM	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	1	
SB	按钮	LAY3-11		1	绿色
M	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	1	

实例3　电动机直接起动单向点动控制电路

电动机点动正转控制电路是用按钮、接触器来控制电动机运转的最简单的正转控制电路。所谓点动控制是指：按下按钮，电动机就得电运转；松开按钮，电动机就失电而停止运转。三相异步电动机的点动控制电路如图1-3所示。电动机点动正转控制电路是由低压断路器QS、熔断器FU、起动按钮SB、接触器KM及电动机M组成。其中以低压断路器QS作电源隔离开关，熔断器FU作短路保护，按钮SB控制接触器KM的线圈得电、失电，接触器KM的主触头控制电动机M的起动与停止。

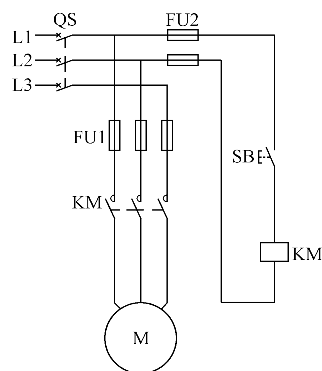


图1-3　电动机单向点动控制电路

当电动机需要点动时，先合上低压断路器QS，此时电动机M尚未接通电源。按下起动按钮SB，接触器KM的线圈得电，接触器KM的三对主触头闭合，电动机M便接通电源起动运转。当电动机需要停转时，只要松开起动按钮SB，使接触器KM的线圈失电，接触器KM的三对主触头断开，电动机M失电停转。

实例4　电动机直接起动单向运行控制电路

在要求电动机起动后能连续运行时，采用上述点动控制电路是不行的。因为要使电动机M连续运行，起动按钮SB就不能断开，这是不符合生产实际要求的。为实现电动机的连续运行，可采用接触器自锁单向控制电路，如图1-4所示。这是一种最常用、最简单的控制电路，能实现对电动机的起动、停止的自动控制、远距离控制、频繁操作等。电动机单向起动电路由主电路和控制电路两部分组成：

①主电路。主电路由低压断路器QS、熔断器FU、接触器KM的常开主触头，热继电器FR和电动机M组成。

②控制电路。在电动机单向起动电路的控制电路中，FU为控制电路的熔断器，SB2为起动按

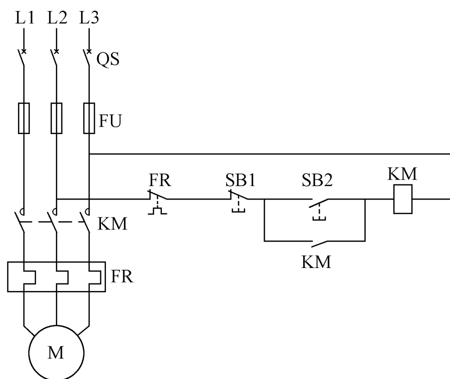


图1-4　单向运行电气控制电路

钮，SB1 为停止按钮，KM 为接触器线圈和接触器常开辅助动合触头，FR 为热继电器的常闭动断触头。

1. 控制电路工作原理

①起动电动机。合上低压断路器 QS，按起动按钮 SB2，接触器 KM 的吸引线圈得电，3 对常开主触头闭合，将电动机 M 接入电源，电动机开始起动。同时，与 SB2 并联的 KM 的常开辅助触头闭合，即使松手断开 SB2，吸引线圈 KM 通过其辅助触头可以继续保持通电，维持吸合状态。凡是接触器（或继电器）利用自己的辅助触头来保持其线圈带电的，称之为自锁（自锁）。这个触头称为自锁（自锁）触头。由于 KM 的自锁作用，当松开 SB2 后，电动机 M 仍能继续起动，最后达到稳定运转，完成电动机的起动过程。

②停止电动机。按停止按钮 SB1，接触器 KM 的线圈失电，其主触头和辅助触头均断开，电动机脱离电源，停止运转。这时，即使松开停止按钮，由于自锁触头断开，接触器 KM 线圈不会再通电，电动机不会自行起动。只有再次按下起动按钮 SB2 时，电动机方能再次起动运转。也可以用下述方式描述：

合上低压断路器 QS

起动→KM 主触头闭合→电动机 M 得电起动、运行。

按下 SB2→KM 线圈得电→KM 常开辅助触头闭合→实现自锁。

停车→KM 主触头复位→电动机 M 断电停止运行。

按下 SB1→KM 线圈失电→KM 常开辅助触头复位→自锁解除。

2. 电路保护环节

①短路保护。图 1-4 所示主电路发生短路时，通过熔断器 FU 的熔体熔断，切断主电路。

②过载保护。电动机在运转过程中，如果长期负载过大或频繁操作等都会引起电动机绕组过热，影响电动机的使用寿命，甚至会烧坏电动机。因此，对电动机要采用过载保护，一般采用热继电器作为过载保护元件，电动机过载保护通过热继电器 FR 实现，由于热继电器的热惯性比较大，即使热元件上流过几倍额定电流，热继电器也不会立即动作。因此，在电动机起动时间不太长的情况下，热继电器经得起电动机起动电流的冲击而不会动作。只有在电动机运行过程中，由于过载或其他原因，使负载电流超过额定值时，经过一定时间，串接在主回路中的热继电器的双金属片因受热弯曲，使串接在控制回路中的动断触头断开，切断控制回路，接触器 KM 的线圈断电，主触头断开，电动机 M 停转，达到了过载保护的目的。

③欠电压和失电压保护。当电动机正在运行时，如果电源电压由于某种原因消失，那么在电源电压恢复时，电动机就将自行起动，这就可能造成生产设备的损坏，甚至造成人身事故。对电网来说，同时有许多电动机及其他用电设备自行起动也会引起不允许的过电流及瞬间网络电压下降。为了防止电压恢复时电动机自行起动的保护叫失电压保护或零压保护。

“欠电压保护”是指当电路电压下降到某一数值时，电动机能自动脱离电源停转，避免电动机在欠电压下运行的一种保护。因为当电路电压下降时，电动机的转矩随之减小，电动机的转速也随之降低，从而使电动机的工作电流增大，影响电动机的正常运行，电压下降严重时还会引起“堵转”（即电动机接通电源但不转动）现象，以致损坏电动机。采用接触器

自锁正转控制电路就可避免电动机欠电压运行，这是因为当电源电压下降到一定值（一般指低于额定电压85%以下）时，接触器线圈两端的电压也同样下降到一定值，从而使接触器线圈磁通减弱，产生的电磁吸力减小。当电磁吸力减小到小于反作用弹簧的拉力时，动铁心被迫释放，带动主触头、自锁触头同时断开，自动切断主电路和控制电路，电动机失电停转，达到欠电压保护的目的。

如果电源电压恢复正常，由于自锁解除，电动机不会自行起动，避免了意外事故发生。只有操作人员再次按下SB2后，电动机才能起动。控制电路具备了欠电压和失电压的保护能力以后，有如下三个方面优点：

①防止电压严重下降时电动机在重负载情况下的低压运行。

②避免电动机同时起动而造成电源电压的严重下降。

③防止电源电压恢复时，电动机突然起动运转，造成设备和人身事故。

确认接线正确后，接通交流电源L1、L2、L3并合低压断路器QS，按下SB1，电动机应起动并连续转动，按下SB1电动机应停转。若按下SB2电动机起动运转后，电源电压降到320V以下或电源断电，则接触器KM的主触头会断开，电动机停转。再次恢复电压为380V（允许±10%波动），电动机应不会自行起动（接触器具有欠电压或失电压保护功能）。如果电动机转轴卡住而接通交流电流，则在几秒内热继电器应动作，断开加在电动机上的交流电源（不能超过10s，否则电动机过热会冒烟导致损坏）。图1-5所示电路的元器件规格参数见表1-3。

表1-3　元器件规格参数

代号	名　　称	型号	规格	数量	备注
QS	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体3A	3	
KM	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	1	
SB1、SB2	实验按钮	LAY3-11		2	SB2红 SB1绿
FR	热继电器	JR-36	整定电流0.68A	1	
M	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	1	

实例5　用倒顺开关控制三相异步电动机直接起动正反转电路

采用倒顺开关控制三相异步电动机正反转电路如图1-5所示。该控制电路的优点是：所用电器少，其缺点是在频繁换向时，操作工劳动强度大，不方便，被控电动机的容量较小。将QS1打在断开位置，QS2的手柄扳到“停”位置。接通交流电源，QS2扳到正转（开关置于“顺转”位置）状态时，电动机即正转起动，若要使电动机反转，则应把QS2扳到“停”位置，使电动机先停转，然后将手柄扳到反转位置（开关置于“倒转”位置），则电动机应反转起动。图1-5所示电路中的元器件规格参数见表1-4。

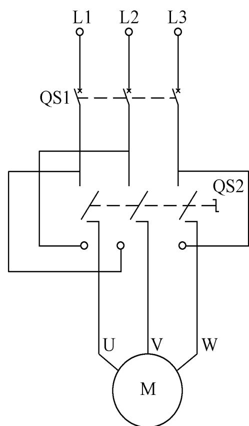


图 1-5　倒顺开关的三相异步电动机正反转控制电路

表 1-4　元器件规格参数

代号	名称	型号	规格	数量	备注
QS1	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
QS2	倒顺开关	HY2-8		1	
M	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	1	

实例 6　接触器联锁的三相异步电动机直接起动正反转控制电路

接触器联锁的三相异步电动机正反转控制电路如图 1-6 所示。控制电路的动作过程是：

①正转控制：合上电源开关 QS，按正转起动按钮 SB2，正转控制回路接通：

L1→2→FR→SB1→SB2→KM2 常闭触头
→KM1线圈→KM1 常开触头闭合自锁
↓
1　　　└→KM1 常闭触头断开对 KM2 联锁

接触器 KM1 的线圈通电动作，主触头闭合，主电路 U1、V1、W1 接通，电动机正转。

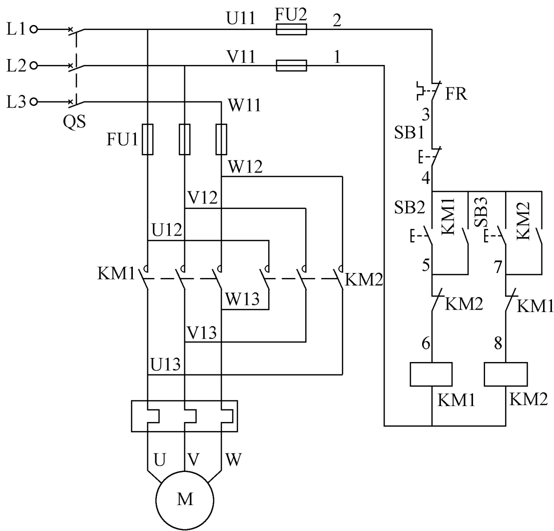


图 1-6　接触器联锁的三相异步电动机正反转控制电路

②反转控制：要使电动机改变转向（即由正转变为反转）时，应先按下停止按钮 SB1，使正转控制电路断开，电动机停转，然后才能使电动机反转。因反转控制回路中串联了正转接触器 KM1 的常闭触头。当 KM1 通电工作时，它是断开的，若这时直接按反转按钮 SB3，反转接触器 KM2 是无法通电的，电动机也就得不到电源，电动机仍然处在正转状态，不会反转，当按下停止按钮 SB1，使电动停转以后，再按下反转按钮 SB3，电动机才会反转。这时，反转控制电路为：

L1→2→FR→SB1→SB3→KM1 常闭触头
→KM2线圈→KM2 常开触头闭合自锁
↓
1　　　└→KM2 常闭触头断开对 KM1 联锁

反转接触器 KM2 通电动作，主触头闭合，主电路接 W1、V1、U1 接通，电动机电源相

序改变了，故电动机做反向旋转。

仔细检查确认接线无误后，接通交流电源，按下SB2，电动机应正转（电动机右侧的轴伸端为顺时针转，若不符合转向要求，可停机，换接电动机定子绕组任意两个接线即可）。按下SB3，电动机仍应正转。如要电动机反转，应先按SB1，使电动机停转，然后再按SB3，则电动机反转。图1-6所示电路中的元器件规格参数见表1-5。

表1-5　元器件规格参数

代号	名　　称	型号	规格	数量	备注
QS	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU1	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体3A	3	
FU2	瓷插式熔断器	RC1-5A	配熔体3A	2	
KM1、KM2	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	2	
SB1、SB2、SB3	按钮	LAY3-11	一常开一常闭自动复位	3	SB1红 SB2绿 SB3绿
FR	热继电器	JR-36	整定电流0.63A	1	
M	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	1	

实例7　按钮联锁的三相异步电动机直接起动接触器正反转控制电路

按钮联锁的三相异步电动机接触器正反转控制电路如图1-7所示。该电路的动作过程基本上与图1-6所示电路相似。它的优点是：当需要改变电动机的转向时，只要直接按反转按钮就行了，不必先按停止按钮。这是因为，如果电动机已按正转方向运转时，线圈是通电的。这时，如果按下按钮SB2，它串在KM1线圈回路中的常闭触头首先断开，将KM1线圈回路断开，相当于按下停止按钮SB3作用，使电动机停转，随后SB2的常开触头闭合，接通线圈KM2的回路，使电源相序相反，电动机即反向旋转。同样，当电动机已做反向旋转时，若按下SB1，电动机就先停转后正转。该电路是利用按钮动作时，常闭先断开、常开后闭合的特点来实现KM1与KM2之间的联锁触头。

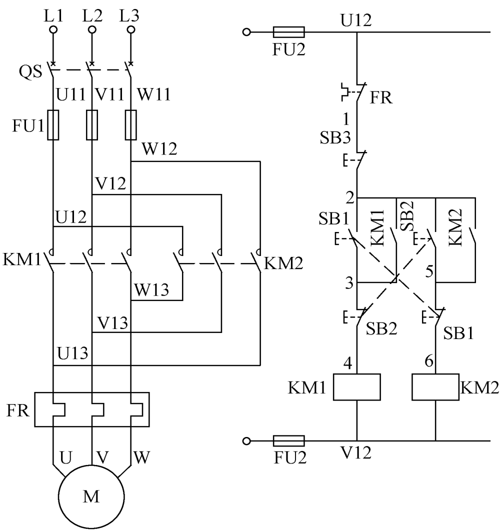


图1-7　按钮联锁的三相异步电动机接触器正反转控制电路

确认接线正确后，接通交流电源，按下SB1，电动机应正转；按下SB2，电动机应反转；按下SB3，电动机应停转。图1-7所示电路中的元器件规格参数见表1-6。

表 1-6　元器件规格参数

代号	名称	型号	规格	数量	备注
QS	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU1	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体 3A	3	
KM1、KM2	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	2	
SB1、SB2、SB3	按钮	LAY3-11	一常开一常闭自动复位	3	SB1 绿 SB2 绿 SB3 红
FR	热继电器	JR-36	整定电流 0.68A	1	
M	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	1	

实例 8　双重联锁的三相异步电动机直接起动正反转控制电路

双重联锁的三相异步电动机正反转控制电路如图 1-8 所示。该电路实际上就是在按钮联锁的基础上，增加了接触器联锁。这种电路操作方便，安全可靠，应用非常广泛。

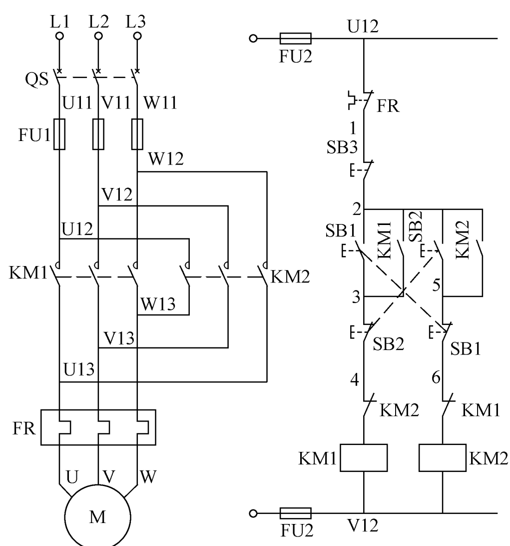


图 1-8　双重联锁的三相异步电动机正反转控制电路

经检查接线牢固和无误后，按下 SB1，电动机应正转；按下 SB3 电动机应停转；按下 SB2，电动机应反转；松开 SB2，再按下 SB1，电动机应从反转状态变为正转状态。图 1-8 所示电路中的元器件规格参数见表 1-7。

表 1-7　元器件规格参数

代号	名称	型号	规格	数量	备注
QS	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU1	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体 3A	3	
KM1、KM2	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	2	
SB1、SB2、SB3	按钮	LAY3-11	一常开一常闭自动复位	3	SB1 绿 SB2 绿 SB3 红
FR	热继电器	JR36	整定电流 0.68A	1	
M	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	1	

实例 9　电动机直接起动连续与点动混合控制的正转控制电路

在实际生产工作中，设备的正常运行，一般电动机都处于连续运行状态。但在试车或调整时，又需要电动机能点动控制，实现这种控制要求的电路具有连续与点动混合控制功能。

1. 三相异步电动机连续与点动混合控制的正转控制电路

连续与点动混合控制的正转控制电路如图 1-9 所示。图 a 既有点动按钮，又有正常连续运行的控制按钮。点动时，按下 SB3，接触器 KM 吸引线圈得电，主常开触头 KM 闭合，电动机运行；放开按钮时，由于在点动接通接触器的同时，又断开了接触器的自锁常开触头 KM，所以在 SB3 按钮松开后电动机停转。那么当按下连续工作按钮 SB2 时，KM 吸引线圈得电吸合，而 KM 自锁触头自锁，故可以长期吸合运行。应用这种电路有时会因接触器出现故障使其释放时间大于点动按钮的恢复时间，造成点动控制失效。SB1 是电动机停止按钮。

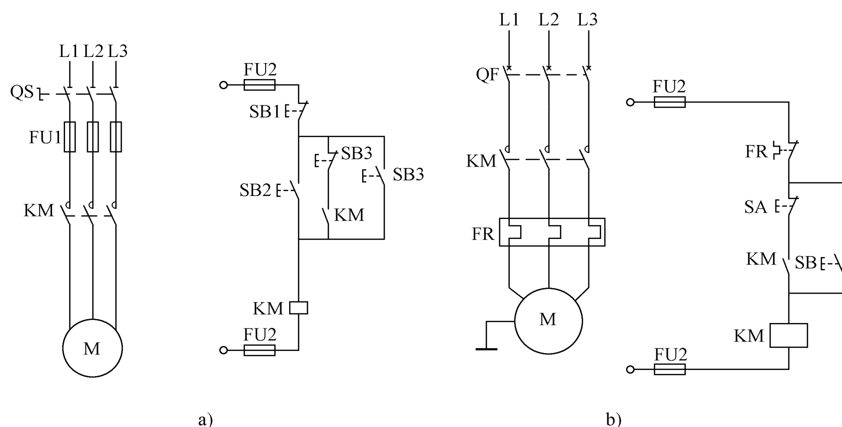


图 1-9　连续与点动混合控制的正转控制电路

图 1-9b 的工作过程如下：

点动：将手动开关 SA 打开，至于断开位置。按下起动按钮 SB，接触器 KM 线圈得电吸合，其主触头闭合，电动机运行。虽然 KM 线圈得电后接触器 KM 辅助常开触头也闭合，但因为 KM 辅助常开触头与手动开关 SA 串联，而 SA 已打开使自锁环节失去作用，一旦松开按钮 SB 则 KM 线圈立即失电，主触头断开，电动机停止运行。

正常运行：将手动开关 SA 至于闭合位置。按下起动按钮 SB，接触器 KM 线圈得电并自锁，其主触头闭合，电动机运行。将手动开关 SA 断开，KM 线圈失电，主触头立即断开，电动机停止运行。

2. 三相异步电动机正反转点动控制电路

三相异步电动机正反转点动控制电路如图 1-10 所示。在该电路中，用两个按钮 SB1、SB2 实现正反转的点动控制。即按下 SB1，接触器 KM1 得电，KM1 主触头闭合，实现三相电动机的正向转动，同时 SB1 的联锁的触头切断了反转电路，保正电路的安全可靠，松开 SB1，电动机停止转动，实现点动控制。

需要反转时，按下 SB2，KM2 得电，KM2 主触头闭合，三相电动机反向转动，松开 SB2，电动机的反转停止，实现反转控制。图 1-10 所示电路中的元器件规格参数见表 1-8。

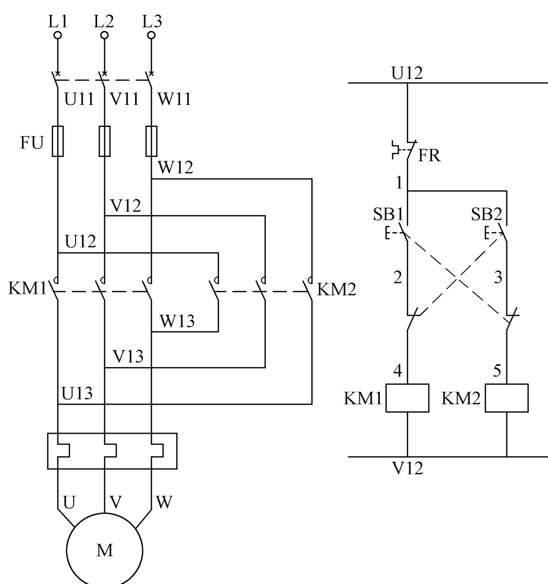


图 1-10　三相异步电动机正反转点动控制电路

表 1-8　元器件规格参数

代号	名　　称	型号	规格	数量	备注
QS	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体 3A	3	
KM1、KM2	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	2	
SB1、SB2	按钮	LAY3-11	一常开一常闭自动复位	2	SB1 绿、SB2 绿
FR	热继电器	JR-36	整定电流 0.63A	1	
M	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	1	

实例 10　电动机直接起动顺序控制电路

1. 两台电动机顺序控制电路（一）

图 1-11 所示电路的特点是实现两台电动机的主电路的顺序控制：M2 的主电路接在 KM1 主触头的下面。电动机 M1 和 M2 分别通过接触器 KM1 和 KM2 来控制，KM2 的主触头接在 KM1 主触头的下面，这就保证了当 KM1 主触头闭合，M1 起动后，M2 才能起动。电路的工作原理为：按下按钮 SB1，KM1 线圈得电吸合并自锁，M1 起动。此后，按下按钮 SB2，KM2 才能吸合并自锁，M2 起动。停止时，按下 SB3，KM1、KM2 断电，M1、M2 同时停转。

2. 两台电动机顺序控制电路（二）

图 1-12 所示电路的特点是两台电动机的控制电路实现的顺序控制。图 1-12a 所示电路的特点是：KM2 的线圈接在 KM1 自锁触头后面，这就保证了 M1 起动后，M2 才能起动的顺序控制要求。图 1-12b 所示的控制电路特点是：在 KM2 的线圈回路中串接了 KM1 的常开触头，显然，KM1 不吸合，即使按下 SB2，KM2 也不能吸合，这就保证了只有 M1 起动后，

M2才能起动。停止按钮SB3控制两台电动机同时停止，停止按钮SB4控制M2电动机的单独停止。图1-12c所示的控制电路的特点是：SB3按钮两端并联了KM2的常开触头，从而实现了M1起动后，M2才能起动，而M2停止后，M1才能停止的控制要求，即M1、M2是顺序起动，逆序停止。

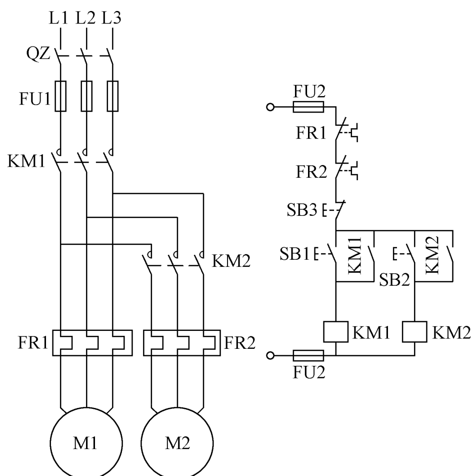


图1-11　两台电动机顺序控制电路（一）

3. 两台电动机顺序控制电路（三）

在装有多台电动机的生产机械上，因各电动机所起的作用不同，有时必须按一定的顺序起动，方能保证工作安全。例如，在车床的主轴工作之前，必须先起动油泵电动机，使润滑系统有足够的润滑油以后，方能起动主轴电动机。在图1-13所示电路中，M1为油泵电动机，M2为主轴电动机。当按下起动按钮SB1时，KM1线圈通电，主触头及自锁触头KM1闭合，电动机M1起动。当M1起动后，M2才有可能起动。如果在M1起动以前，误按下按钮SB2，M2也不能起动。

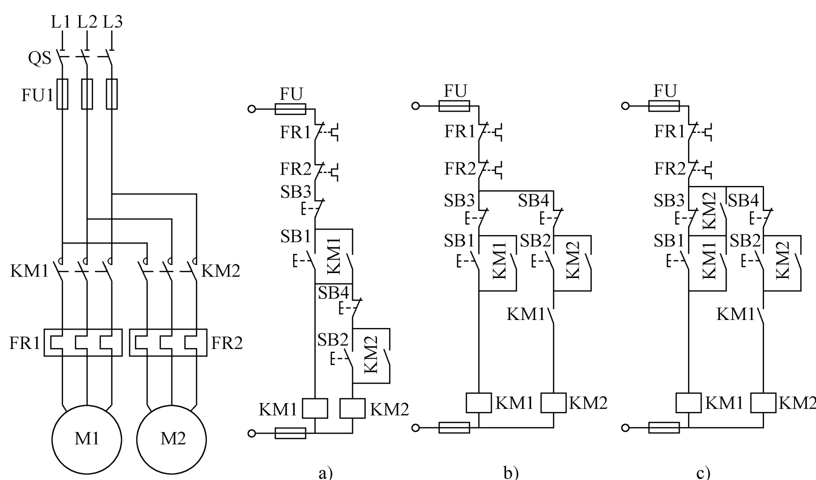


图1-12　两台电动机顺序控制电路（二）

4. 两台电动机顺序控制电路（四）

当按下图1-14所示电路M1的起动钮SB1，接触器KM1线圈通电，KM1主触头闭合，M1起动。同时串接在M2控制电路中的KM1接触器常开触头闭合，为M2做好了起动准备，如在M1起动前误按下SB2，因接触器KM1常开联锁触头开路，接触器KM2不通电，电动机M2不能起动。

5. 两台电动机顺序控制电路（五）

顺序起动、停止控制电路是在一个设备起动之后另一个设备才能起动运行的一种控制方法，常用于主、辅设备之间的控制，如图1-15所示。当辅助设备的电动机KM1起动之后，

主要设备的电动机 KM2 才能起动，主设备电动机 M2 不停止，辅助设备的电动机 M1 也不能停止。但辅助设备在运行中应某原因停止运行（如 FR1 动作），主要设备也随之停止运行。图 1-15 所示电路的操作过程如下：

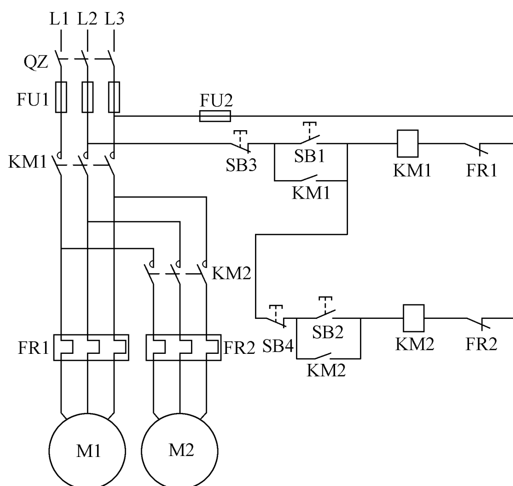


图 1-13　两台电动机顺序控制电路（三）

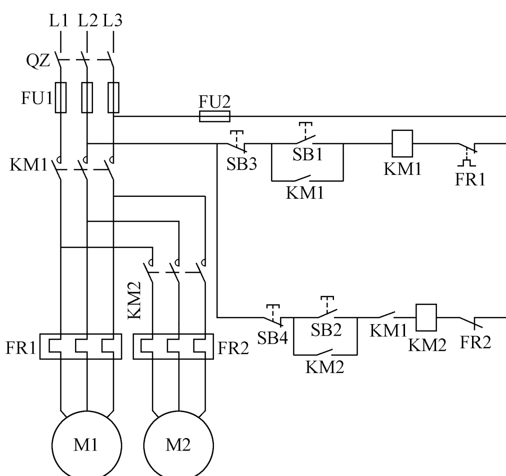


图 1-14　两台电动机顺序控制电路（四）

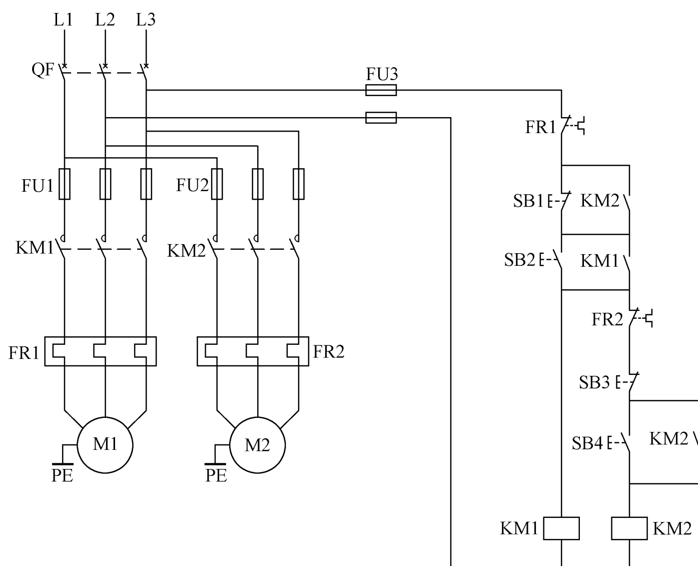


图 1-15　两台电动机顺序控制电路（五）

①合上开关 QF，使电路的电源接入。

②按辅助设备控制按钮 SB2，接触器 KM1 线圈得电吸合，主触头闭合，M1 运行，并且 KM1 辅助常开触头闭合实现自锁。

③按主设备控制按钮 SB4，接触器 KM2 线圈得电吸合，主触头闭合主电动机 M2 开始运行，并且 KM2 的辅助常开触头闭合实现自锁。

④KM2 的另一个辅助常开触头将 SB1 短接，使 SB1 失去控制作用，无法先停止辅助设

备KM1。

⑤停止时只有先按SB3按钮，使KM2线圈失电，辅助触头复位（触头断开），SB1按钮才起作用。

⑥主电动机的过电流保护由热继电器FR2来完成。

⑦辅助设备的过电流保护由热继电器FR1来完成，但FR1动作后控制电路全断电，主、辅设备全停止运行。

6. 两台电动机顺序控制电路（六）

顺序控制电路是在一个设备起动之后另一个设备才能起动的一种控制方法，在图1-16所示为两台电动机顺序控制电路中。M2是不能先起动的，因为SB4和KM1是断开状态，只有当KM1吸合实现自锁之后，SB4按钮才起作用，使KM2通电吸合，这种控制多用于大型空调设备的控制电路。

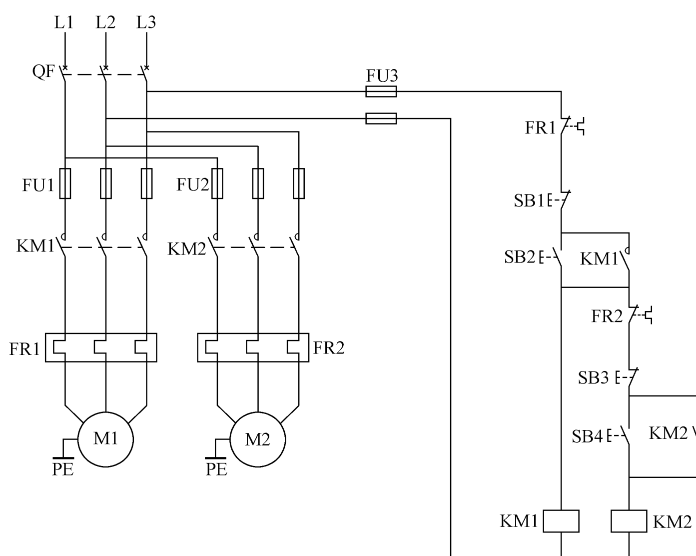


图1-16　两台电动机顺序控制电路（六）

7. 两台电动机顺序控制电路（七）

两台电动机顺序控制电路如图1-17所示。电路的起动操作过程如下：

①按控制按钮SB2或SB4使接触器KM1或KM2线圈得电吸合，主触头闭合，M1或M2通电，电动机运行工作。

②接触器KM1、KM2的辅助常开触头同时闭合，电路自锁。

电路的停止过程：

①按控制按钮SB3，接触器KM2线圈失电，电动机M2停止运行。

②若先停电动机M1，按下SB1按钮，由于KM2没有释放，KM2常开辅助触头与SB1的常开触头并联在一起并呈闭合状态，所以按钮SB1不起作用。只由当接触器KM2释放之后，KM2的常开辅助触头断开，按钮SB1才起作用。在图1-17所示电路中，电动机的过载保护由FR1和FR2分别完成，FR2保护电动机M2，但FR1动作保护后，M2也将停止工作。

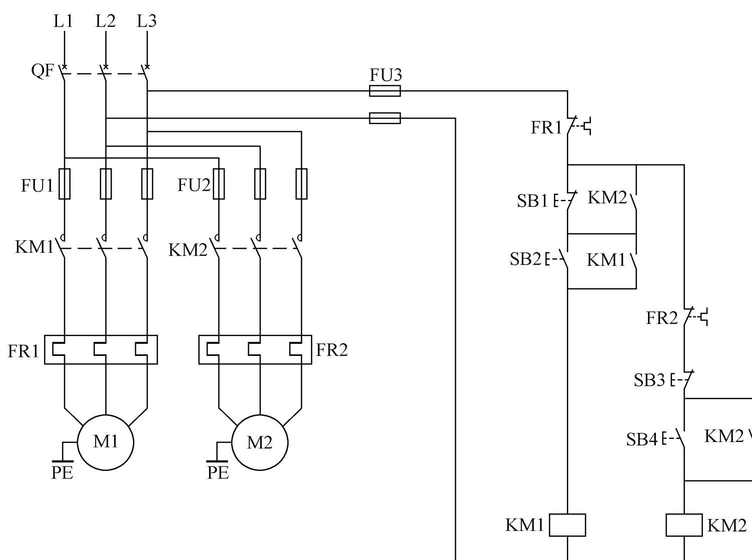


图 1-17　两台电动机顺序控制电路（七）

8. 三台电动机顺序控制电路

某生产工艺要求 M1 起动 8s 后 M2 立即起动，M2 起动 20s 后，M3 才能起动。当三台电动机起动完毕后只有 M3 先停止，M1、M2 才能同时停止；也可以三台电动机同时停止。根据工艺要求设计的三台电动机顺序控制电路如图 1-18 所示。

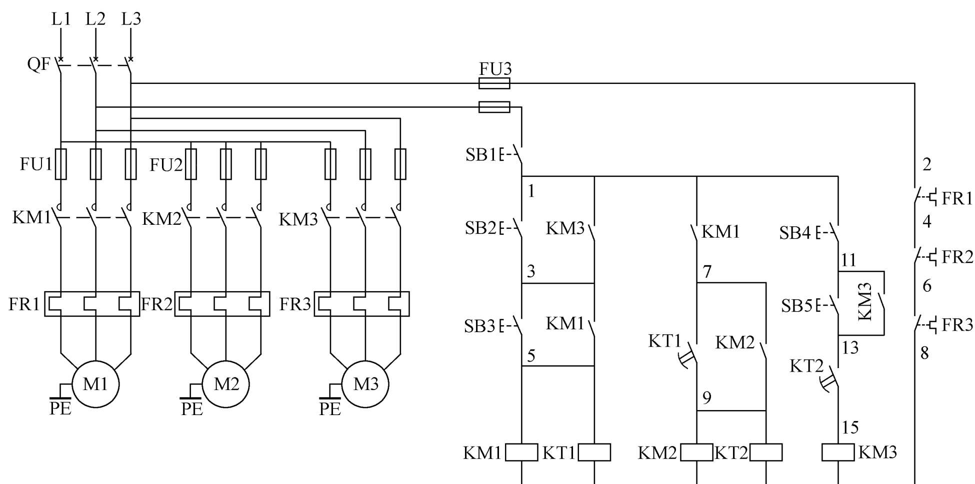


图 1-18　三台电动机顺序控制电路

9. 三相异步电动机的顺序控制电路

三相异步电动机的顺序控制电路如图 1-19 所示。在图 1-19b 中，接触器 KM1 的另一常开触头（线号为 6、7）串联在接触器 KM2 线圈的控制电路中，当按下 SB11 使电动机 M1 起动运转，再按下 SB21，电动机 M2 才会起动运转，若要停 M2 电动机，则只要按下 SB22，若 M1、M2 都要停机，则只要按下 SB12 即可。

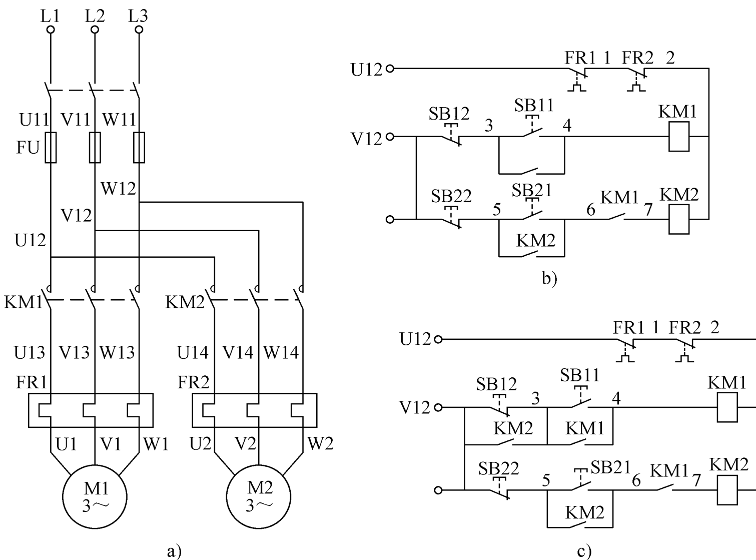


图1-19 三相异步电动机的顺序控制电路

在图1-19c中，起动顺序控制与前述相同，但它的停止是有特点的。由于在SB12停止按钮两端并联着一个接触器KM2的常开辅助触头，所以只有先使接触器KM2线圈失电，即电动机M2停止，同时KM2常开辅助触头断开，然后才能按动SB12达到断开接触器KM1线圈电源的目的，使电动机M1停止，这种顺序控制电路的特点是：使两台电动机依次顺序起动，而逆序停止。图1-19所示电路中的元器件规格参数见表1-9。

表1-9 元器件规格参数

代号	名称	型号	规格	数量	备注
QS	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体3A	3	
KM1、KM2	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	2	
SB11、SB12、SB21、SB22	按钮	LAY3-11	一常开一常闭自动复位	4	SB11绿 SB21绿 SB12红 SB22红
FR1、FR2	热继电器	JR-36	整定0.68A	2	
M1、M2	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 160W	2	

实例11 工作台自动往返控制电路

工作台自动往返控制电路如图1-20所示。图中，SQ1、SQ2装在机床床身上，用来控制工作台的自动往返，SQ3和SQ4用来作终端保护，即限制工作台的极限位置；在工作台的梯形槽中装有挡块，当挡块碰撞行程开关后，能使工作台停止和换向，工作台就能实现往返运动。工作台行程可通过移动挡块位置来调节，以适应加工不同的工件。该电路的工作原理简述如下：

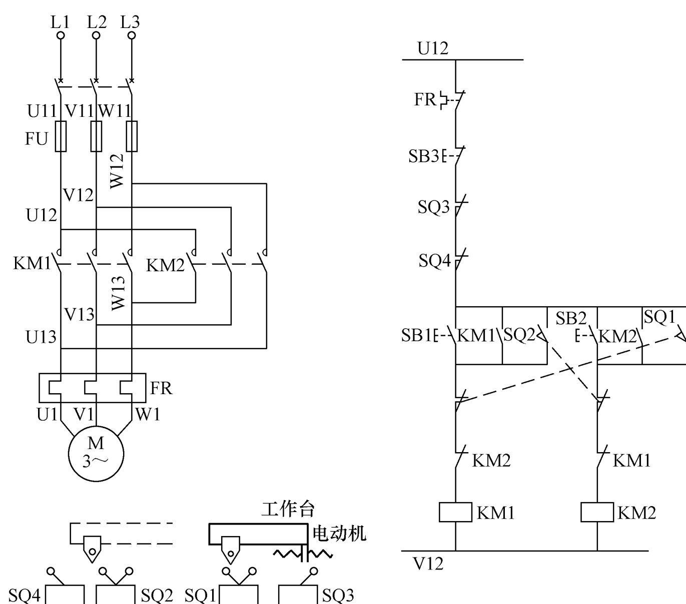
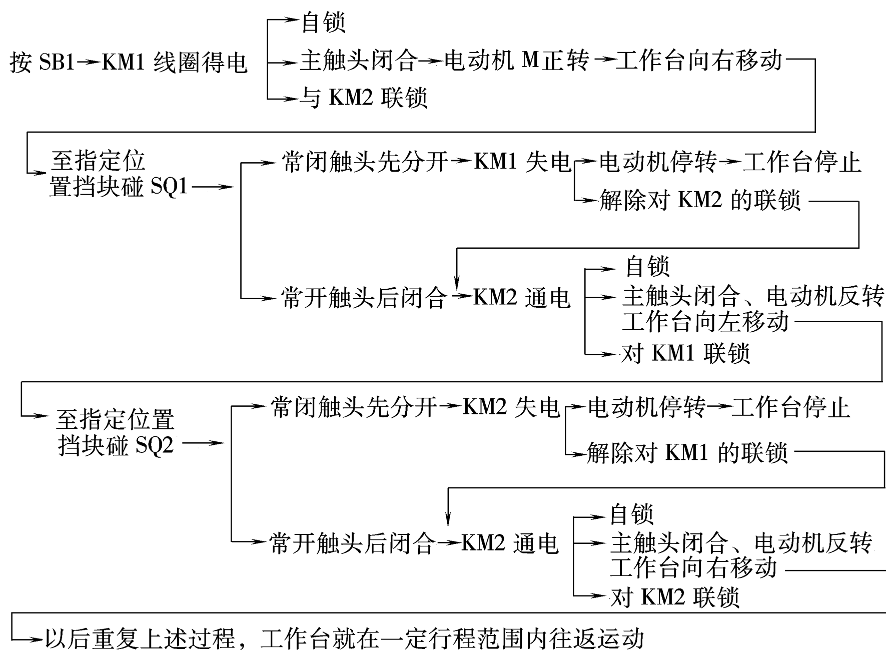


图 1-20　工作台自动往返控制电路

合上电源开关 QS



图中，SQ3 和 SQ4 分别安装向右或向左的某个极限位置上。如果 SQ1 或 SQ2 失灵时，工作台会继续向右或向左运动，当工作台运行到极限位置时，撞块就会碰撞 SQ3 和 SQ4，从而切断控制电路，迫使电动机 M 停转，工作台就停止移动，这里 SQ3 和 SQ4 实际上起终端保护作用，因此称为终端保护开关或简称终端开关。

按 SB1，观察并调整电动机 M 为正转（模拟工作台向右移动），用手代替挡块按压

SQ1，电动机先停转再反转，即可使SQ1自动复位（反转模拟工作台向左移动）；用手代替挡块按压SQ2再使其自动复位，则电动先停转再正转。以后重复上述过程，电动机都能正常正反转。若拨动SQ3或SQ4极限位置开关则电动机应停转。图中的元器件规格参数见表1-10。

表1-10 元器件规格参数

代号	名称	型号	规格	数量	备注
QS	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体3A	3	
KM1、KM2	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	2	
SB1、SB2、SB3	按钮	LAY3-11	一常开一常闭自动复位	3	SB1绿 SB2绿 SB3红
FR1	热继电器	JR36	整定电流0.68A	1	
M1、M2	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	2	
SQ1、SQ2	行程开关	YBLX-K1/211		2	
SQ3、SQ4	行程开关	YBLX-K1/111		2	

实例12 带有点动的自动往返控制电路

带有点动的自动往返控制电路如图1-21所示，点动功能原理：按下SB3，其常闭触头断开切断了KM1的自锁触头，但是其常开触头闭合，同样使KM1线圈得电，实现正向点动控制。反向同理，按下SB4，其常闭触头断开切断了KM2的自锁触头，但是其常开触头闭合，同样使KM2线圈得电，实现反向点动控制。图1-21所示电路中的元器件规格参数见表1-11。

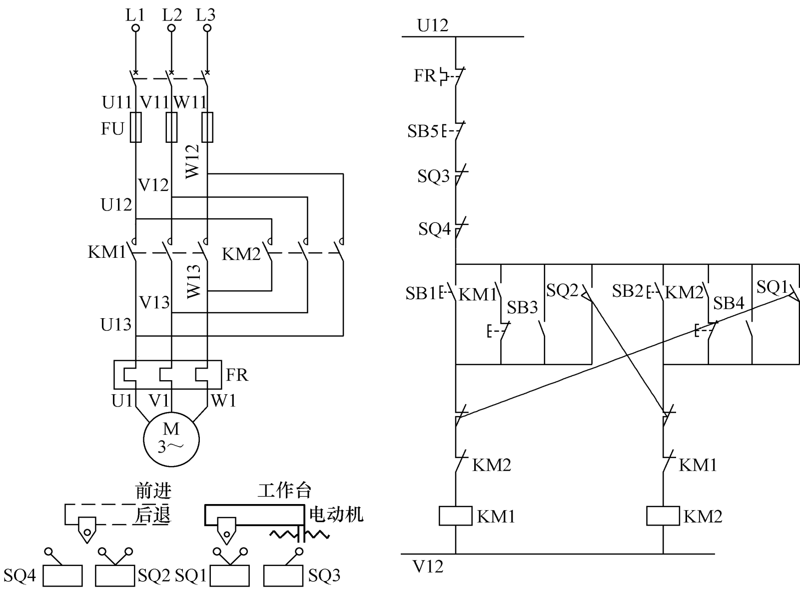


图1-21 带有点动的自动往返控制电路

表 1-11　元器件规格参数

代号	名称	型号	规格	数量	备注
QS	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体 3A	3	
KM1、KM2	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	2	
SB1、SB2、SB3、SB4、SB5	按钮	LAY3-11	一常开一常闭自动复位	3	SB1 绿 SB2 绿 SB3 绿 SB4 绿 SB5 红
FR1	热继电器	JR36	整定电流 0.68A	1	
M1、M2	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	2	
SQ1、SQ2	行程开关	YBLX-K1/211		2	
SQ3、SQ4	行程开关	YBLX-K1/111		2	

实例 13　电动机直接起动多地控制电路

部分工艺设备要求一台设备可在几个地方进行操作控制，要实现电动机拖动设备多地点控制，则需将电动机控制电路中的起动按钮并联使用，而将停止按钮串联使用。能在两地或多地控制同一台电动机的控制方式叫电动机的多地控制。

1. 电动机多地控制电路（一）

图 1-22a 为两地控制的控制电路，其中 SB1、SB3 为安装在甲地的起动按钮和停止按钮，SB2、SB4 为安装在乙地的起动按钮和停止按钮。电路的特点是：起动按钮应并联接在一起，停止按钮应串联接在一起。这样就可以分别在甲、乙两地控制同一台电动机，达到操作方便的目的。对于三地或多地控制，只要将各地的起动按钮并联、停止按钮串联即可实现。操作过程如下：

电动机起动；合上断路器 QF，接通三相电源。按下起动按钮 SB1 或 SB2（以操作方便为原则）交流接触器 KM 线圈通电吸合，主触头闭合，电动机运行，同时 KM 辅助常开触头自锁。

电动机停止；按下停止按钮 SB3 或 SB4（以方便操作为原则）接触器 KM 线圈失电，KM 的触头全部释放，电动机停止。电动机的过载保护由热继电器 FR 完成。

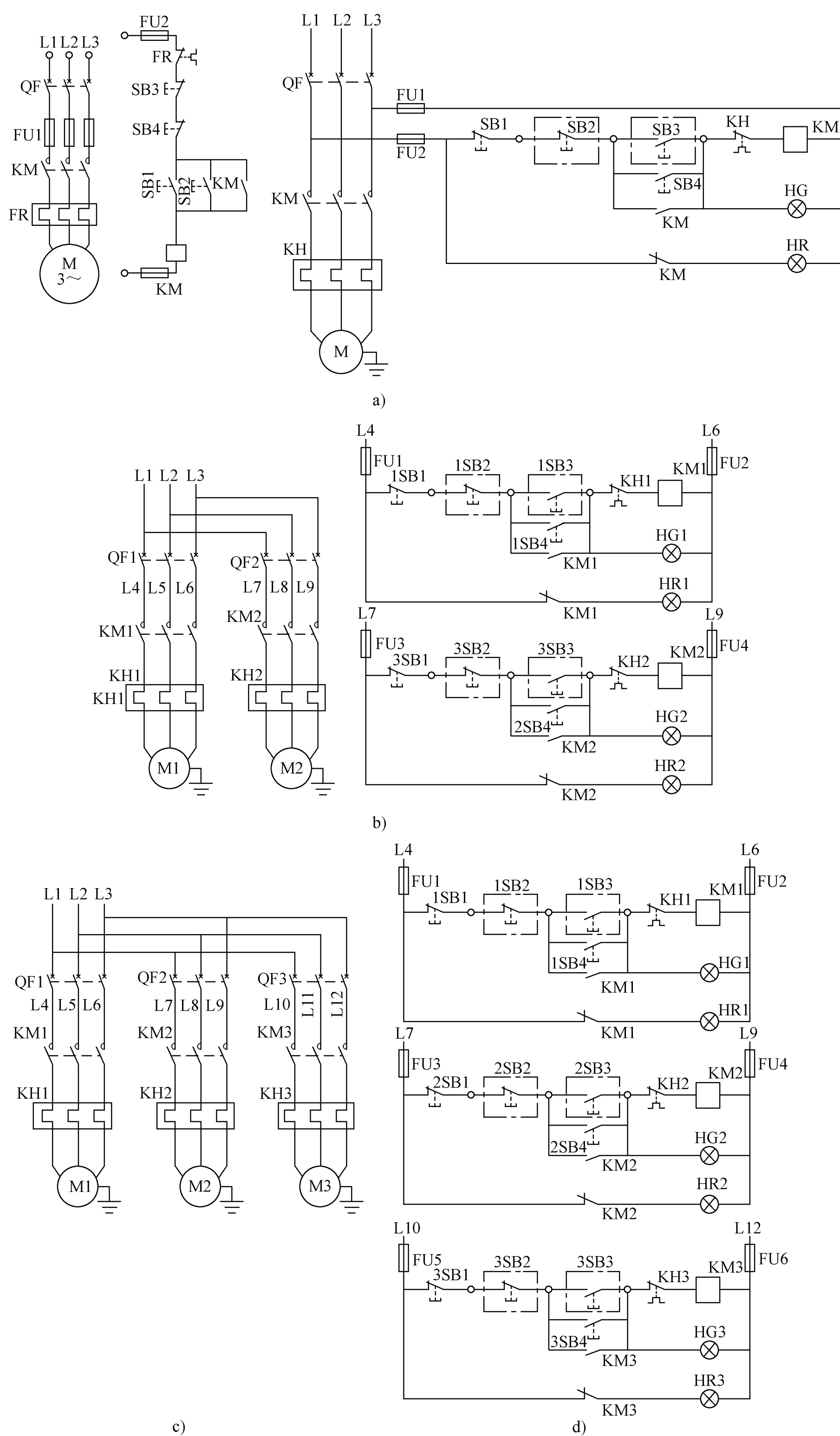
2. 电动机多地控制电路（二）

控制电路如图 1-22b 所示。本电路适用于电压 380V、电动机功率不超过 22kW 的交流电动机直接起动。具有短路、过载、失电压保护功能。可以两地控制，具有外部控制端子，图中 SB2、SB4 为外部控制按钮，可以控制电动机的起停。如果不需要外部按钮控制，可直接在接线端子处将 SB2 按钮的两端短接。

3. 电动机多地控制电路（三）

电动机多地控制电路（三）如图 1-22c 所示。本电路适用于电压 380V、电动机功率不超过 22kW 的交流电动机直接起动。具有短路、过载、失电压保护功能。

可以两地控制，具有外部控制端子，在图 1-22c 中，1SB2、1SB3、2SB2、2SB3 为外部控制按钮，可以控制电动机的起停。如果不需要外部按钮控制，可直接在接线端子处将 1SB2、2SB2 按钮的两端短接。



L1 L2 L3
QF
FU1
KM
FR
M 3~
FU2
FR
SB3
SB4
SB1
SB2
KM
KM
a)
FU1
FU2
SB1
SB2
SB3
SB4
KH
KM
HG
HR
M
L4
L6
FU1
1SB1
1SB2
1SB3
KH1
KM1
FU2
1SB4
KM1
HG1
HR1
QF1
QF2
L4 L5 L6
L7 L8 L9
KM1
KM2
KH1
KH2
M1
M2
L7
L9
FU3
3SB1
3SB2
3SB3
KH2
KM2
FU4
2SB4
HG2
HR2
b)
L10
L12
FU5
FU6
QF3
KM3
KH3
M3
HG3
HR3
3SB4
2SB1
2SB2
2SB3
L11
c)
d)

图 1-22 两地控制电路

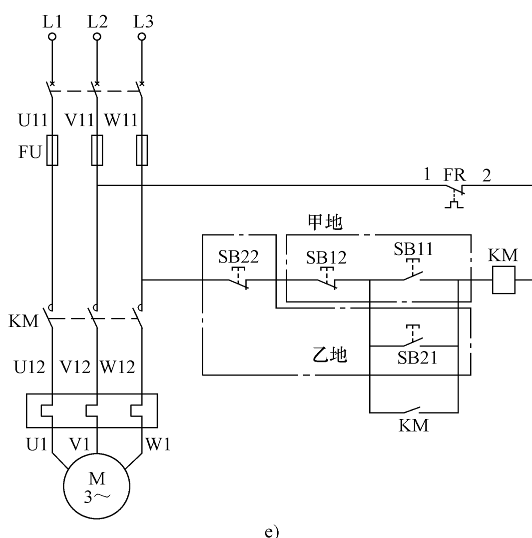


图 1-22　两地控制电路（续）

4. 电动机的多地控制电路（四）

电路如图 1-22d 所示。图中，SB11 和 SB12 为甲地的起动和停止按钮；SB21 和 SB22 为乙地的起动和停止按钮。它们可以分别安装在两个不同地点控制接触器 KM 的接通和断开，进而实现两地控制同一电动机起、停的目的。图中的元器件规格参数见表 1-12。

表 1-12　元器件规格参数

代号	名称	型号	规格	数量	备注
QS	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体 3A	3	
KM	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	1	
SB11、SB12、SB21、SB22	按钮	LAY3-11	一常开一常闭自动复位	4	SB11 绿 SB21 绿 SB12 红 SB22 红
FR	热继电器	JR-36	整定电流 0. 68A	1	
M	三相式异步电动机		380V 0. 45A 120W	1	

实例 14　电动机空载自动停机及断相保护控制电路

由继电器组成的异步电动机空载停机及断相保护控制电路能可靠解决电动机不必要的空载运行耗电和因断相而烧坏电动机问题。该电路接线简单，调整方便，与晶体管组成的断相保护比较，不受环境、温度等因素的影响，可靠性高。

1. 电动机的额定电流小于 10A 电路

当电动机的额定电流小于10A时，电流继电器的电流线圈直接串入主电路中，电路如图1-23所示。1LJ、2LJ、3LJ是三个电磁型电流继电器，KM是交流接触器，SB1、SB2分别为停止和起动按钮。

①断相保护作用。如果将电流继电器的动作电流值整定到等于电动机的空载电流值，当按下起动按钮SB2时，控制回路接通，接触器常开触点KM闭合。电动机起动。此时，由于电流继电器中的实际电流值（起动、轻载、满载电流均可）大于其动作电流整定值，所以电流继电器的常开触点1LJ、2LJ、3LJ闭合，电动机正常运转。

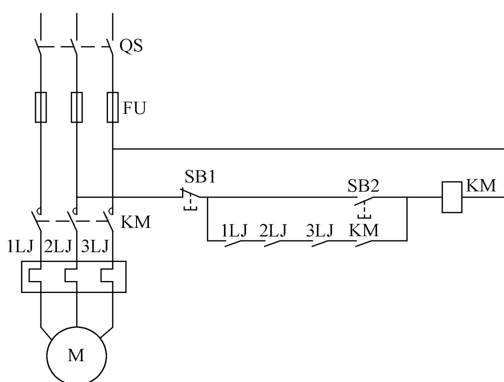


图1-23 空载自动停机及断相保护控制电路（电流小于10A）

当一相电路断开，如A相FU熔体熔断，则电流继电器1LJ中的电流 I_A 为零，小于动作电流整定值，故触点1LJ释放分断，KM失电，交流接触器分断，电动机停转。

②空载电动机自动停机。当不需要电动机空载运行时，可将电流继电器的电流返回值整定得比电动机的空载电流值大。由于继电器的返回电流大于电动机的空载电流，所以电动机一旦空载时，电流继电器便返回，分断控制电路。这样，便实现了空载自动停机的目的。当需要电动机空载运行时，可将返回电流值整定得比空载电流值小即可。

电流继电器的两个电流线圈是串联还是并联的原则是：电动机的空载电流值（空载电流值是电动机额定电流的20%～40%）应包含在电流继电器动作电流的范围内；电动机额定电流应小于电流继电器长期热稳定电流。如：电动机额定电流为5A，其空载电流据计算为 $I_0 = 5 \times (20\% \sim 40\%) = 1 \sim 2A$。对于该电动机可选用DL-11/2型的电磁型电流继电器，且其两个电流线圈应并联。这是因为过电流继电器的两个电流线圈并联时动作电流为1～2A，电动机的空载电流被包含在其中；又因为该电流继电器长期热稳定电流为8A，大于电动机额定电流5A。

对于额定电流小于10A的电动机，可选用DL-11/2型、DL-11/6型的电磁型电流继电器，它们的额定电流分别为4～8A和10～22A。

2. 电动机额定电流大于10A电路

当电动机额定电流大于10A时，主电路可带电流互感器，电路如图1-24所示。将电流继电器1LJ、2LJ、3LJ刻度盘上的调整把手放在最小位置，将电动机加上额定电压，使其空载运行。如果需要电动机同时具有断相保护和空载自动停机的性能，则慢慢往大的方向拨动电流继电器1LJ刻度盘上的调整把手，至接触器动作，使电动机断开电源为止，便调整完毕1LJ电流断电器的整定值（这时继电器的返回电流

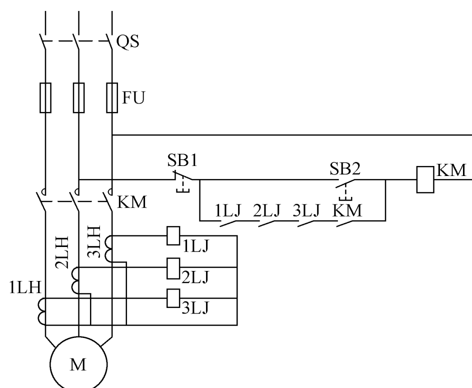


图1-24 空载自动停机及断相保护控制电路（大于10A电路）

大于电动机的空载电流）；其余两个继电器的调整，只需将 2LJ、3LJ 的调整把手调至大于零而大于电动机空载电流的位置即可。如果不需电动机空载自动停机，只需具有断相保护，则将各电流继电器的调整把手置于大于零而小于空载电流的位置即可。

实例 15　安全型单按钮控制电动机直接起停电路

安全型单按钮控制电动机起停电路如图 1-25 所示。该电路能很方便地实现电动机的安全单按钮控制、远距离控制和多地控制，可广泛应用于工农业生产中。在图 1-25 所示电路图中，PSSR 为固态继电器，K1、K2 为交流电磁继电器，KM 为交流接触器。M 为被控电动机。

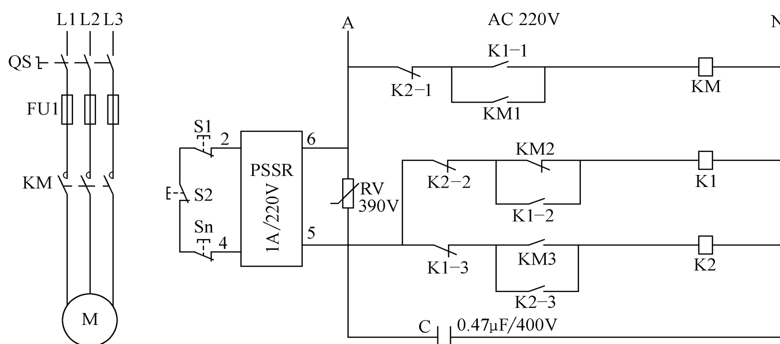


图 1-25　安全型单按钮控制电动机起停电路

起动电动机时，按下按钮 S1（或 Sn），PSSR 的零功率驱动端②、④脚间断开，其交流输出端⑤、⑥脚之间开通，继电器 K1 通电吸合。K1 吸合后，K1 常开触头 K1-1 闭合，交流接触器 KM 线圈通电，KM 的常开主触头接通电动机电源，使电动机起动运转。KM 的常开辅助触头 KM1、KM3 闭合，常闭辅助触头 KM2 断开。这时继电器 K2 的线圈因 K1 的常闭触头 K1-3 已断开而不能通电，所以 K2 不能吸合。松开按钮后，因 KM1 已闭合自锁，所以交流接触器 KM 仍吸合，电动机继续运转。但这时 K1 因 S1（或 Sn）松开、PSSR 输出端⑤、⑥脚之间断开而断电释放，其常闭触头 K1-3 复位，为下次起动 K2 做好准备。当电动机需要停止运行时，第二次按下 S1（或 Sn），这时 K1 线圈通路被接触器常闭辅助触头 KM2 切断，所以 K1 不会吸合，而 K2 线圈通电吸合。K2 吸合后，其常闭触头 K2-1 断开，切断 KM 线圈电源，KM 释放，电动机断电停止运行。同时，K2 常闭触头 K2-2 切断 K1 线圈通路，使 K1 在 KM 辅助触头 KM2 复位后仍不能通电吸合。手松开按钮后，K2 释放，电路恢复初始状态。当第三次按下 S1（或 Sn）时，重复上述起动时的动作。可见，当 S1 或 Sn 按下奇数次时，电动机起动运转，而当 S1 或 Sn 按下偶数次时，电动机则停止运转。

由图 1-25 所示电路分析可知：只有当 S1 或 Sn 按下时，继电器 K1 或 K2 才通电，而电动机正常运转或停转时，K1、K2 均呈断电状态，可避免电能浪费。由于 PSSR 控制端与输出端之间绝缘电阻高达 100MΩ，故按钮与交流电源之间有良好的绝缘性，按钮具有低电压（PSSR 的②、④脚输出电压约 3V）、无火花、安全等控制特性。

如果延长PSSR与按钮之间的两根导线，则可实现远距离控制电动机的目的。如果在按钮回路中串联几个（n为自然数）相同的按钮，则可很方便地实现电动机的多地控制。

实际应用时，PSSR选用JCG-1A/220V型固态继电器。由于PSSR的①脚灵敏度很高，不用悬空时很容易受到外界感应信号的干扰，应将此脚与公共端④脚短接。

RV为MYG-391K型氧化锌压敏电阻器，要求峰值电流≥100A，其作用是使PSSR的输出开关端不受过电压的冲击。C为校正电容器，用来防止PSSR的⑤、⑥脚间漏电流（一般<2mA）造成K1、K2失控，也可用一个27kΩ、2W的分流电阻来代替。K1、K2选用工作电压为交流220V的电磁继电器；KM的触头容量根据所控电动机功率大小来确定。

实例16　单按钮控制电动机直接起停电路

常规电动机起动、停止需用两个按钮，在多点控制中，则需按钮引线较多。利用一个按钮多点远程控制电动机的起停，则可简化控制电路又节省导线，单按钮控制电动机直接起停电路如图1-26所示，其工作原理是：起动时，按下按钮SB，继电器K1线圈得电吸合，K1-1常开触头闭合，交流接触器KM线圈通电，KM吸合并自锁，电动机起动。KM1的常开辅助触头闭合，KM2常闭辅助触头断开。这时，继电器K2的线圈因K1-2的常闭触头已断开而不能通电，所以K2不能吸合。松开按钮SB，因KM已自锁，所以交流接触器KM仍吸合，电动机继续运转。但这时K1因SB放松而断电释放，其常闭触头K1-2复位，为接通K2做好准备。在第二次按下按钮SB，这时继电器K1线圈通路被KM2常闭触头切断，所以K1不会吸合，而K2线圈通电吸合。K2吸合后，其常闭触头断开，切断KM线圈电源，KM断电释放，电动机停转。

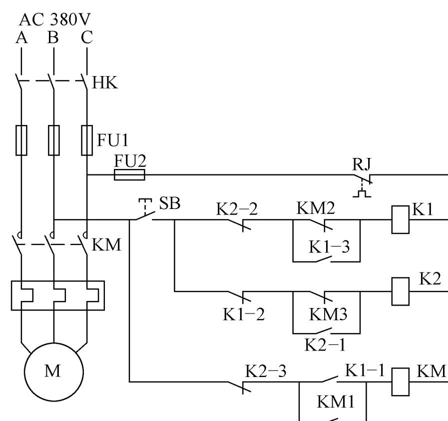


图1-26　单按钮控制电动机起停电路

实例17　电动机多条件直接起动控制电路

为了保证人员和设备的安全，往往要求两处或多处同时操作才能发出主令信号，设备才能工作。要实现多信号控制，在电路中需要将起动按钮（或其他电器元件的常开触头）串联。电动机多条件起动控制电路如图1-27所示。

多条件起动电路只是在起动时要求各处达到安全要求设备才能工作，但运行中其他控制点发生了变化，设备不停止运行，这与多保护控制电路不一样。

图1-27所示电路的工作过程是（以两个信号为例的多信号控制电路），起动时只有将SB2、SB3同时按下，交流接触器KM线圈才能通电吸合，主触头接通，电动机开始运行。而电动机需要停止时，可按

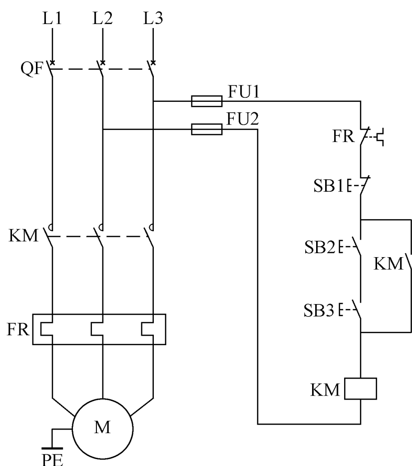


图1-27　电动机多条件起动控制电路

下 SB1，KM 线圈失电，主触头断开，电动机停止运行。

实例 18　电动机直接起动多保护控制电路

电动机多保护起动电路是外围辅助设备必须达到工作要求时，电动机才可以起动，电动机多保护控制电路如图 1-28 所示。图中，SQ 是一个限位开关，起到位置保护作用，辅助设备未达到位置要求，电动机不能起动。根据工作需要，也可以是压力、温度、液位等多种控制，当需要多种保护时，可将各种辅助保护设备的常开接点串接起来即可。

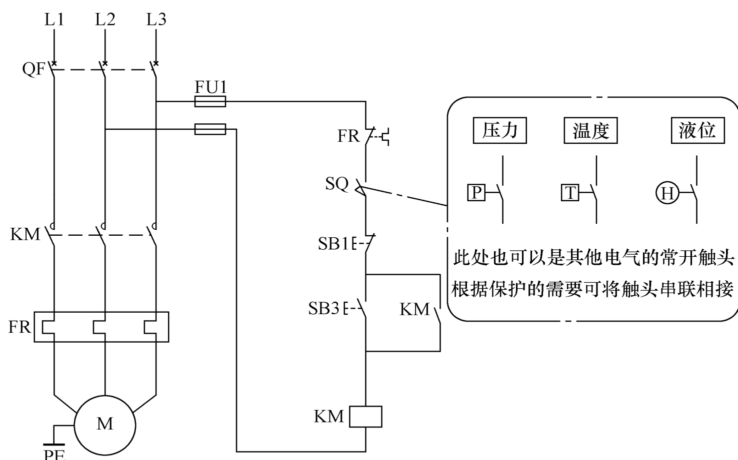


图 1-28　电动机直接起动多保护控制电路

电动机多保护起动电路的起动过程是，合上 QF 开关，电路得电，但这时按下 SB2 起动按钮不起作用，因为辅助保护的 SQ 常开接点未闭合，只有当辅助设备达到位置要求时，SQ 常开接点闭合，按下 SB2 按钮才起作用。如果在运行当中，辅助设备的位置发生了变化，SQ 接点立即断开，KM 接触器线圈断电释放，KM 接触器主触头断开，电动机停止运行。从而达到保护的目的。

实例 19　三相异步电动机直接起动，正、反向点动控制电路

三相异步电动机正、反向点动控制电路如图 1-29 所示，点动控制电路是在需要设备动作时按下控制按钮 SB1 或 SB2，接触器 KM1 或 KM2 线圈得电，主触头闭合设备开始工作，松开按钮后接触器线圈断电，主触头断开设备停止运行。此种控制方法多用于小型起吊设备的电动机控制。图 1-29 所示电路接线完成后，应做以下试验和检查：

①空载试验：接通电源开关 QF，按下 SB1 按钮，接触器 KM1 立即动作，松开 SB1 则 KM1 应立即断电复位，按下 SB2 按钮，接触器 KM2 立即动作，松开 SB2，KM2 应立即断电复位，此时应认真观察 KM 主触头动作是否正常，细听接

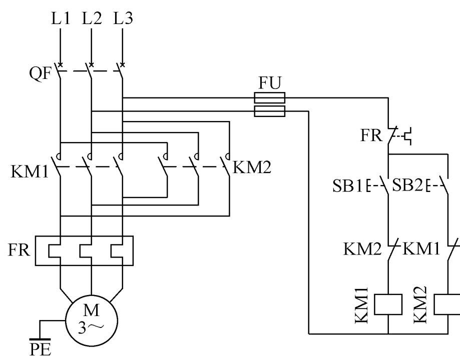


图 1-29　电动机正、反向点动控制电路

触器线圈通电运行声音是否正常。反复做几次试验，检查电路动作是否可靠。

②互锁检查：接通电源开关 QF，按下 SB1 按钮，接触器 KM1 立即动作，此时再按下 SB2 按钮，KM2 不应动作，同样若先按下 SB2 按钮，接触器 KM2 立即动作，再按下 SB1 按钮，KM1 不应动作。有动作则表明互锁触头接线有错，应检查改正后再试验。

③带负载试验：切断电源接上电动机定子绕组引线，重新通电试验，接通电源开关 QF，按下点动控制按钮，接触器 KM 动作，观察电动机起动和运行情况，松开按钮 SB，观察电动机能否停车。

试车中如发现接触器振动、噪声、主触头燃弧严重以及电动机嗡嗡响，转不起来，应立即停车进行检查，重新检查电源电压，导线，各连接点开关接触是否有虚接，停电检查电动机绕组有无断线，必要时拆开接触器检查电磁机构，排除故障后重新试验。

实例 20　按钮联锁的电动机直接起动正反转控制电路

按钮联锁的正反转控制电路如图 1-30 所示，它采用了复合按钮，按钮互锁连接。当电动机正向运行时，按下反转按钮 SB3 时，首先是使接在正转控制电路中 SB3 的常闭触头断开，于是，正转接触器 KM1 的线圈断电释放，触头全部复原，电动机断电做惯性运行，紧接着 SB3 的常开触头闭合，使反转接触器 KM2 的线圈获电动作，电动机立即反转起动。这既保证了正反转接触器 KM1 和 KM2 不会同时通电，又可不按停止按钮而直接按反转按钮进行反转起动，同时，由反转运行转换成正转运行，也只需直接按正转按钮。电路动作原理如下：

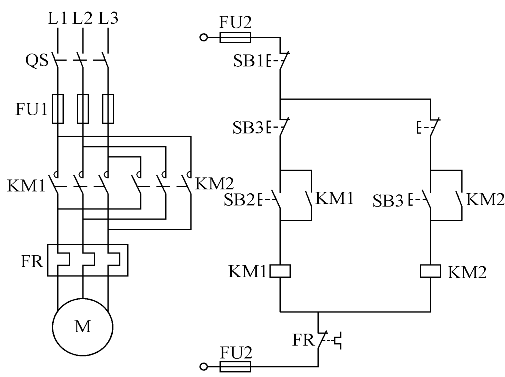


图 1-30　按钮联锁的正反转控制电路

合上电源开关 QS，按下 SB2，SB2 的常闭触头断开，SB2 的常闭触头与 KM2 回路实现联锁，即在 SB2 的常开触头闭合时，KM2 回路被分断。SB2 的常开触头闭合后，KM1 线圈得电，电动机正转；KM1 辅助常开触头闭合自锁。

按下 SB3，SB3 的常闭触头断开，KM1 线圈失电，KM1 辅助常开触头复位自锁解除，电动机停转。SB3 的常开触头闭合后，KM2 线圈得电，电动机反转，KM2 辅助常开触头闭合自锁。

这种电路的优点是操作方便，缺点是如正转接触器主触头发生熔焊，分断不开时，直接按反转按钮进行换向，会产生短路事故。

实例 21　接触器联锁的电动机直接起动正反转控制电路

接触器联锁的正反转控制电路如图 1-31 所示，接触器联锁正反转控制电路采用了两个接触器，即正转用的接触器 KM1 和反转用的接触器 KM2，由于接触器的主触头接线的相序不同，所以当两个接触器分别单独工作时，电动机的旋转方向相反。

当 KM1 接通时，三相电源的相序按 L1—L2—L3 接入电动机。而当 KM2 接通时，三相电源按 L3—L2—L1 接入电动机。所以当两个接触器分别工作时，电动机的旋转方向相反。

电路要求接触器线圈不能同时通电。为此，在正转与反转控制电路中线圈分别交叉串联了 KM2 和 KM1 的常闭触头，以保证 KM1 和 KM2 不会同时通电。该触头称互锁触头，或联锁触头。图 1-31 所示电路的动作原理如下：

①正转控制：合上电源开关 QS，按 SB2，KM1 线圈获电，KM1 自锁触头闭合，KM1 主触头闭合，电动机正转。按 SB1，KM1 线圈失电，KM1 自锁触头断开，KM1 主触头断开，电动机停转。

②反转控制：合上电源开关 QS，按 SB3，KM2 线圈获电，KM2 自锁触头闭合，KM2 主触头闭合，电动机反转。

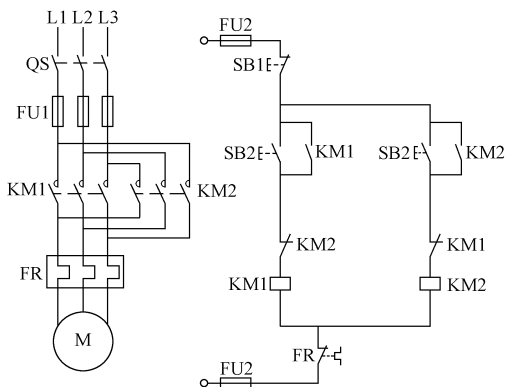


图 1-31　接触器联锁的正反转控制电路

这种电路的缺点是操作不方便，要改变电动机转向，必须先按停止按钮 SB1，再按反转按钮 SB3，才能使电动机反转。

实例 22　双重联锁电动机直接起动正反转控制电路

接触器联锁正反转控制电路的优点是工作安全可靠，缺点是操作不便。因为电动机从正转变为反转时，必须先按下停止按钮后，才能按反转起动按钮，否则由于接触器的联锁作用，不能实现反转。

按钮联锁控制电路的缺点是容易产生电源两相短路故障。例如：当正转接触器 KM1 发生主触头熔焊或被杂物卡住等故障时，即使 KM1 线圈失电，主触头也分断不开，这时若直接按下反转按钮 SB2，KM2 得电动作，触头闭合，必然造成电源两相短路故障。所以采用此电路工作有一定的不安全隐患。因此在实际工作中，经常采用的是按钮、接触器双重联锁的正反转控制电路。

双重联锁控制电路如图 1-32 所示，双重联锁的定义是：第一重是交流接触器常闭触头与对方的线圈相串联而构成的联锁。另一重是复合按钮的常闭触头串联在对方的电路中而构成的联锁。

为了使电动机能够正转和反转，可采用两只接触器 KM1、KM2 换接电动机三相电源的相序，但两个接触器不能同时吸合，如果同时吸合将造成电源的短路事故，为了防止这种事故，在电路中应采取可靠的互锁。图 1-32 所示电路的工作原理是：

①正向起动：合上断路器 QF，接通三相电源，按下正向起动按钮 SB3，KM1 通电吸合并自锁，主触头闭合接通电动机，电动机这时的相序是 L1、L2、L3，即正向运行。

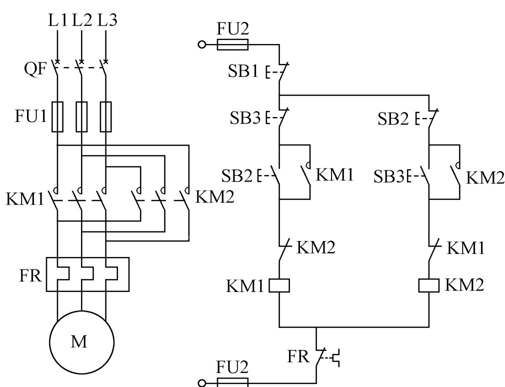


图 1-32　双重联锁控制电路

②反向起动：合上断路器 QF，接通三相电源，按下反向起动按钮 SB2，KM2 通电吸合并通过辅助触头自锁，常开主触头闭合，换接

了电动机三相的电源相序，这时电动机的相序是L3、L2、L1，即反向运行。

③互锁环节：互锁环节具有在电路中起安全保护作用，图1-33所示控制电路互锁环节有：

1）接触器互锁：KM1线圈回路串入KM2的常闭辅助触头，KM2线圈回路串入KM1的常闭触头。当正转接触器KM1线圈通电动作后，KM1的辅助常闭触头断开了KM2线圈回路，若使KM1得电吸合，必须先使KM2断电释放，其辅助常闭触头复位，这就防止了KM1、KM2同时吸合造成相间短路，这一电路环节称为互锁环节。

2）按钮互锁：在电路中采用了控制按钮操作的正反转控制电路，按钮SB2、SB3都具有一对常开触头，一对常闭触头，这两个触头分别与KM1、KM2线圈回路连接。例如按钮SB2的常开触头与接触器KM1线圈串联，而常闭触头与接触器KM2线圈回路串联。按钮SB3的常开触头与接触器KM2线圈串联，而常闭触头与KM1线圈回路串联。这样当按下SB2时只能有接触器KM1的线圈可以通电而KM2断电，按下SB3时，只能有接触器KM2的线圈可以通电而KM1断电，如果同时按下SB2和SB3，则两只接触器线圈都不能通电。这样就起到了互锁的作用。

电动机正向（或反向）起动运转后，不必先按停止按钮使电动机停止，可以直接按反向（或正向）起动按钮，使电动机变为反方向运行。

实例23　两地控制电动机直接起动可逆起动电路

两地控制电动机可逆起动电路如图1-33所示。本电路适用于电压380V、电动机功率不超过22kW的交流电动机可逆起动控制。具有短路、过载、失电压保护。

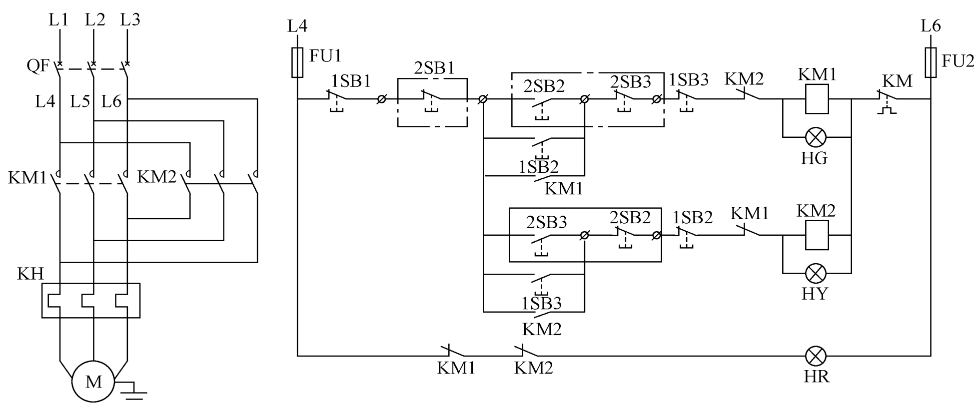


图1-33　电动机两地可逆控制电路

可以两地控制，具有外部控制端子，图中，2SB1、2SB2、2SB3、2SB3为外部控制按钮，可以控制电动机的可逆起动及停机。如果不需要外部按钮控制，可直接在接线端子处将2SB1按钮以及2SB2、2SB3按钮的互锁触头的两端短接（2SB2、2SB3的控制触头不能短接）。

实例 24　电动机直接起动可逆带限位控制电路

按位置原则控制电动机运行，是生产机械电气化中应用最多和作用原理最简单的一种形式，在采用位置控制的电气自动装置电路中，由行程开关或终端开关的动作发出信号来控制电动机的工作状态。若在预定的位置电动机需要停止，则将行程开关的常闭触头串接在相应的控制电路中，这样在机械装置运动到预定位置时行程开关动作，常闭触头断开相应的控制电路，电动机停转，机械运动也停止。

电动机可逆带限位控制电路是一种带有位置保护的控制电路如图 1-34 所示。这种电路多用在具有往返于机械运动的设备上，为了防止设备在运动时超出运动位置极限，在极限位置装有限位开关 SQ 使之能够停止。图 1-34 所示电路工作过程如下：

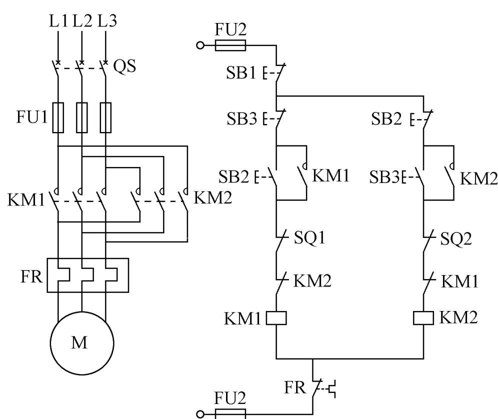


图 1-34　电动机可逆带限位控制电路

1）正向运动：合上断路器 QF，接通三相电源，按下正向起动按钮 SB2，KM1 通电吸合并自锁，主触头闭合接通电动机，电动机这时的相序是 L1、L2、L3，即正向运行。如果运动到了极限位置，将碰到限位开关 SQ1，SQ1 的常闭断开，KM1 失电不再吸合，主触头断开电动机停止。

2）反向运动：合上断路器 QF，接通三相电源，按下反向起动按钮 SB3，KM2 通电吸合并通过辅助触头自锁，常开主触头闭合换接了电动机三相的电源相序，这时电动机的相序是 L3、L2、L1，即反向运行。如果运动到了极限位置，将碰到限位开关 SQ2，SQ2 的常闭断开，KM2 失电不再吸合，主触头断开电动机停止。

3）互锁环节：互锁环节具有在电路中起安全保护作用，图 1-34 所示电路的互锁环节有：

①接触器互锁：KM1 线圈回路串入 KM2 的常闭辅助触头，KM2 线圈回路串入 KM1 的常闭触头。当正转接触器 KM1 线圈通电动作后，KM1 的辅助常闭触头断开了 KM2 线圈回路，若使 KM1 得电吸合，必须先使 KM2 断电释放，其辅助常闭触头复位，这就防止了 KM1、KM2 同时吸合造成相间短路，这一电路环节称为互锁环节。

②按钮互锁：在电路中采用了控制按钮操作的正反转控制电路，按钮 SB2、SB3 都具有一对常开触头，一对常闭触头，这两个触头分别与 KM1、KM2 线圈回路连接。例如按钮 SB2 的常闭触头与接触器 KM2 线圈串联，而常开触头与接触器 KM1 线圈回路串联。按钮 SB3 的常闭触头与接触器 KM1 线圈串联，而常开触头与 KM2 线圈回路串联。这样当按下 SB2 时只能有接触器 KM1 的线圈可以通电而 KM2 断电，按下 SB3 时只能有接触器 KM2 的线圈可以通电而 KM1 断电，如果同时按下 SB2 和 SB3 则两只接触器线圈都不能通电。这样就起到了互锁的作用。

4）停止：正常停止需按下按钮 SB1，SB1 的常闭接点断开，控制回路失电接触器不再吸合，电动机停止运行。

紧急停止，紧急停止是设备在运动过程中，运动到了位置极限碰到限位开关SQ1（SQ2）所造成的停止，这时只要起动反方向控制，即可使设备重新运行。电动机的过载保护由热继电器FR完成。

实例25 电动机直接起动可逆运行自动往返控制电路

按位置原则，自动控制是生产机械电气自动化中应用最多和作用原理最简单的一种形式，在位置控制的电气自动装置电路中，由行程开关或终端开关的动作发出信号来控制电动机的工作状态。

若在预定的位置电动机需要停止，则将行程开关的常闭触头串接在相应的控制电路中，这样在机械装置运动到预定位置时行程开关动作，常闭触头断开相应的控制电路，电动机停转，机械运动也停止。电动机可逆运行自动往返控制电路如图1-35所示。

若需停止后立即反向运动，则应将此行程开关的常开触头并接在另一控制回路中的起动按钮处，这样在行程开关动作时，常闭触头断开了正向运动控制的电路，同时常开触头又接通了反向运动的控制电路。电动机自动往返循环控制电路的动作原理如下：

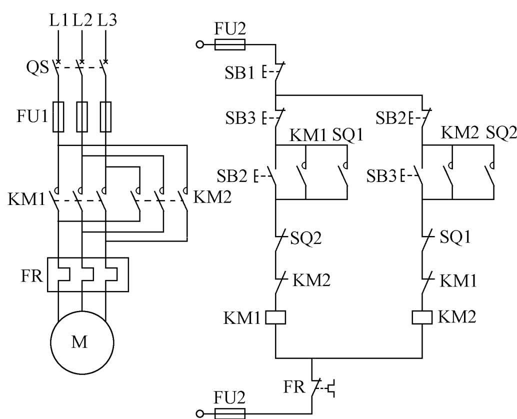


图1-35 电动机可逆运行自动往返控制电路

①合上电源开关QS，接通三相电源。按下正向起动按钮SB2，接触器KM1线圈通电吸合并自锁，KM1主触头闭合接通电动机电源，电动机正向运行，带动机械部件运动。

电动机拖动的机械部件向左运动（设左为正向），当运动到预定位置档块碰撞行程开关SQ2，SQ2的常闭触头断开接触器KM1的线圈回路，KM1断电，主触头释放，电动机断电。与此同时SQ1的常闭触头闭合，使接触器KM2线圈通电吸合并自锁，其主触头使电动机电源相序改变而反转，电动机拖动运动部件向右运动（设右为反向）。

在运动部件向右运动过程中，档块使SQ2复位为下次KM1动作做好准备。当机械部件向右运动到预定位置时，档块碰撞行程开关SQ1，SQ1的常闭触头断开接触器KM2线圈回路，KM2线圈断电，主触头释放，电动机断电停止向右运动。与此同时SQ2的常开触头闭合使KM1线圈通电并自锁，KM1主触头闭合接通电动机电源，电动机运转，并重复以上的过程。

②电路中的互锁环节：接触器互锁，由KM1（或KM2）的辅助常闭触头互锁；按钮互锁由SB2（或SB3）完成。

③自锁环节：由KM1（或KM2）的辅助常开触头并联SB2（或SB3）的常开触头，实现自锁。

若想使电动机停转则按停止按钮SB1，则全部控制电路断电，接触器主触头释放，电动机断开电源停止运行。电动机的过载保护由热继电器FR完成。

实例 26　电动机直接起动安全自动往复控制电路

要实现工作台等工作机件的自动往复循环控制，可采用图 1-36 所示的控制电路。它是在正反转控制电路中加入联锁的行程开关触头 1XWK 和 2XWK 来实现的。将行程开关 1XWK 和 2XWK 分别固定在往复运动的工作台两端的不动机座上，当工作台运行到行程开关处，工作台上的挡铁撞到 1XWK 和 2XWK 的滚轮时，工作台就自动反向运行。3XWK 和 4XWK 是为安全保护而设置的极限行程开关。

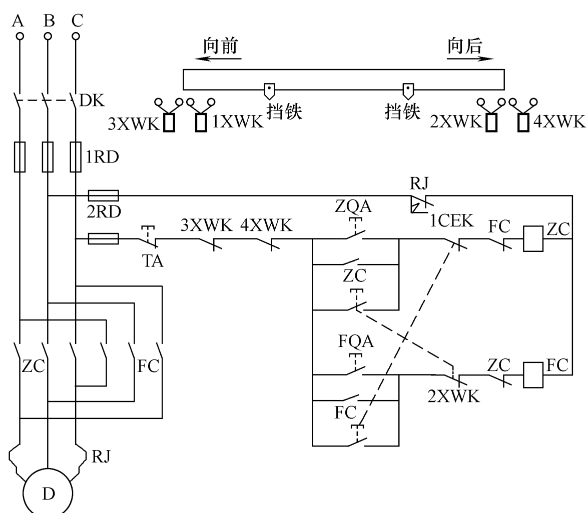


图 1-36　安全自动往复控制电路

实例 27　电动机直接起动自动延时往返控制电路

自动延时往返控制电路如图 1-37 所示，正转时，按下按钮 SB3，KM1 线圈得电，主触头闭合，电动机得电起动，KM1 闭合自锁，电动机正向运转，KM1 常闭触头断开反转回路，起到互锁保护同时 KT1 线圈得电瞬时断开。工作台正向推进，当工作台达到限定位置撞动行程开关 SQ1，SQ1 断开正向回路，KM1、KT1 失电，电动机停转，同时 SQ2 闭合，KT1 延时闭合，起动反转回

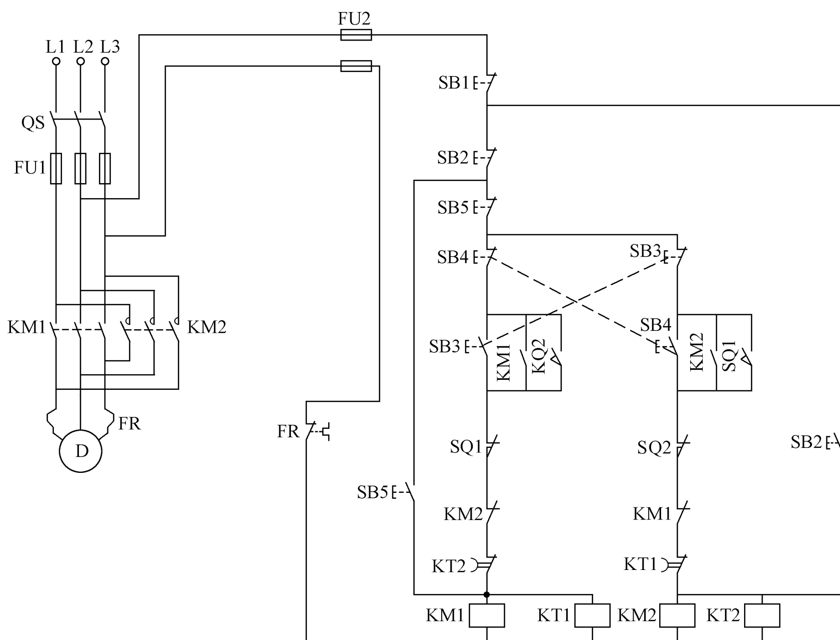


图 1-37　自动延时往返控制电路

路，电动机反转。其反向控制与上述相同。重复动作，实现自动往复。按钮SB2和SB5为点动按钮。

停止时，按下按钮SB1，控制回路断电，电动机停止。过载时，热继电器动作，其常闭触头断开，使控制回路断电停车，起到保护作用。

实例28　双速电动机直接起动控制电路

（1）双速电动机控制电路（一）

双速电动机控制电路（一）如图1-38所示。图中，KM1为△联结低速运行，KM2、KM3为丫联结高速运行。其定子绕组接线如图1-39所示。

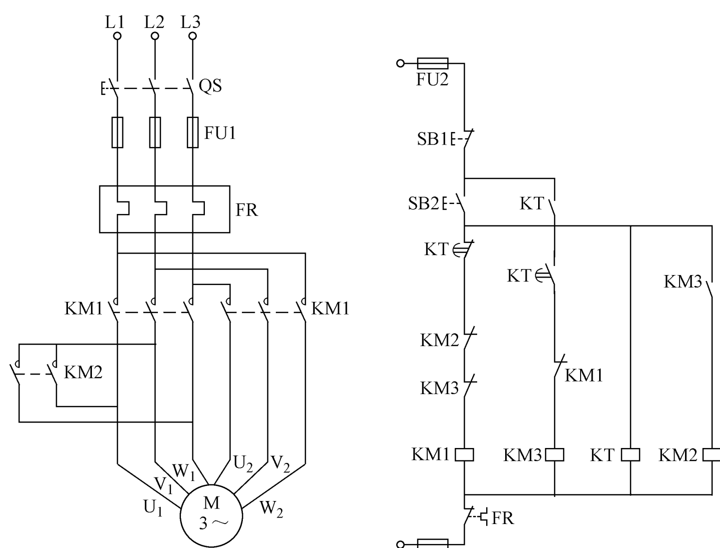


图1-38　双速电动机控制电路（一）

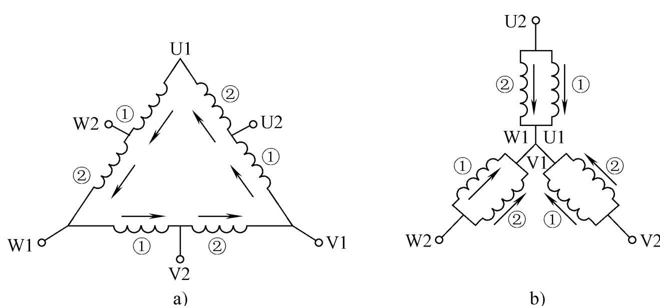


图1-39　定子绕组接线图

a）低速△联结　b）高速丫丫联结

双速电动机是采用改变极对数来改变转速的，低速运行时电动机接U1、V1、W1即可，若要高速运行，则把电动机的3个出线端U1、V1、W1接在一起，电源接到U2、V2、W2 3个出线端上，接线时应注意双速电动机的6个出线端不要接错。图1-38所示控制电路是采

用时间继电器来实现△/YY 的控制，利用 KT 的瞬动触头进行自锁，保持 KT 线圈持续通电，其延时触头延时动作来实现低高速的转换。

（2）双速电动机控制电路（二）

图 1-40 所示电路是双速电动机定子绕组的接线方法和双速电动机的控制电路。电路的工作原理如下：按下低速起动按钮 SB1，低速接触器线圈 KM 通电，电动机低速运转。此时电动机的绕组作 Δ 联结。如需转为高速运转，可按下高速起动按钮 SB3，于是线圈 KM 断电，高速接触器线圈 KM1 和 KM2 接通，电动机高速运转。此时电动机绕组作双 Y 并联。

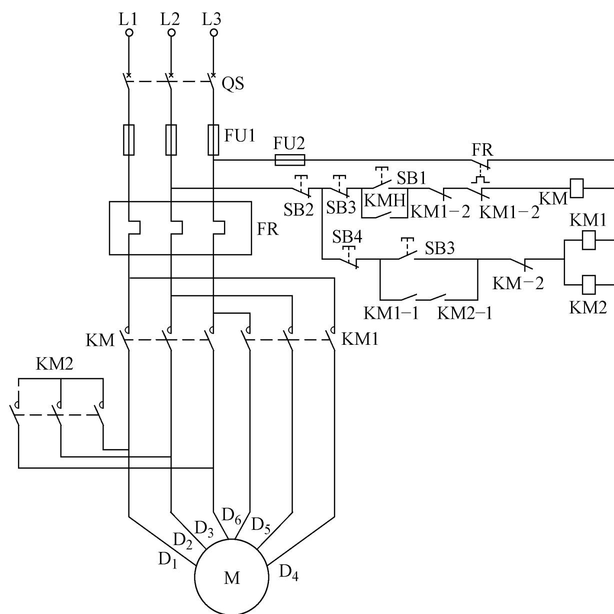


图 1-40　双速电机控制电路（二）

实例 29　双速电动机直接起动自动加速控制电路

双速电动机自动加速控制电路如图 1-41 所示。当速度选择开关 K 放在“0”位置时，电动机不加电，处于停止状态；当将 K 旋到“I”位置时，接触器 KM 动作，电动机按 Δ 联结与电源连接。三相电源由 D1、D2、D3 3 个接点接入。当开关旋到“Ⅱ”位置时，电动机则由低速转动，经过时间继电器 SJ 延时后自动切换到高速。这时接触器 KM1、KM2 动作，三相电源从 D4、D5、D6 接入，为 Y 形联结，转速增加一倍。

实例 30　多台电动机顺序直接起动控制电路

笼型异步电动机的起动电流 I_{st}（线电流）是额定电流 I_n 的 5 ~ 7 倍，例：Y132M-4 型电动机，额定电流 $I_n = 15.4A$，$I_{st}/I_n = 7$，所以 $I_{st} = 107.8A$。由于电动机起动时间短，大的起动电流对电动机本身影响不大，但电动机的起动电流在瞬间将造成供电系统较大的电压降落，影响同一配电系统的用电设备正常工作，尤其对同一配电系统中工作的电动机，电压突然降低会使电动机转速下降，电流增大，甚至堵转，对设有欠电压保护的用电设备，将造成

设备跳闸而停止工作。在实际工程中，多数大中型电动机采取减压起动技术来降低起动电流。但小型电动机一般直接起动，如果有多台小型电动机同时直接起动，也会造成供电系统较大的电压降落，而影响其他用电设备的正常工作。

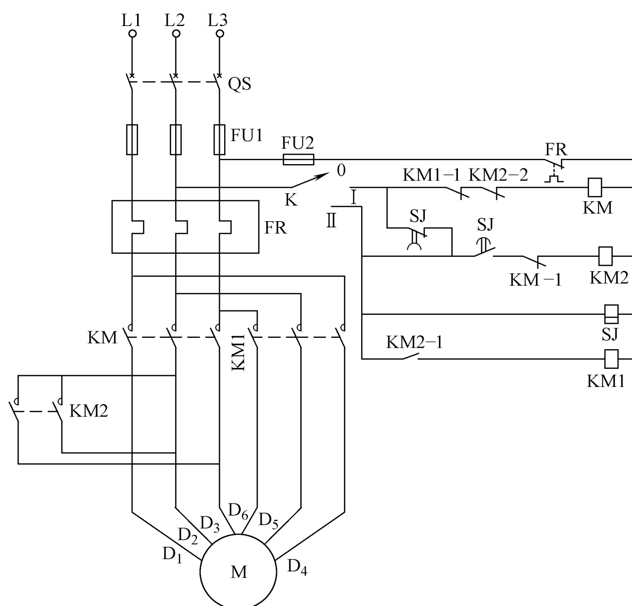


图 1-41 双速电机自动加速控制电路

在实际工程中，对于由多台小型电动机构成的拖动系统。可采用分时起动的控制电路，分时起动的主回路及控制回路电路分别如图 1-42、图 1-43 所示。在图 1-42 所示主电路图中；FU 为熔断器；起短路保护作用。QF 为断路器；KM1、KM2、KM3 为每台电动机的起动接触器；KR1、KR2、KR3 为每台电动机的热继电器，起过载保护作用。

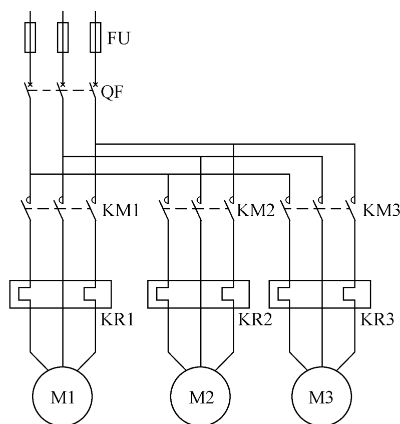


图 1-42 三台电动机起动主电路

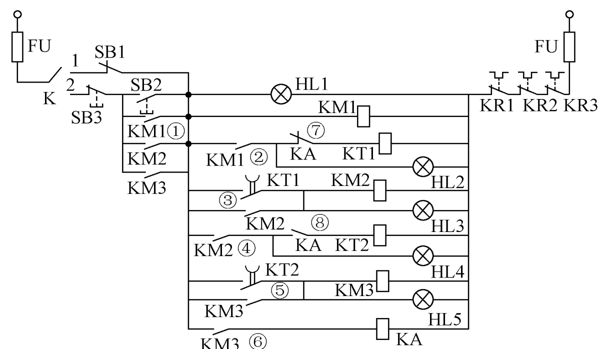


图 1-43 三台电动机起动控制电路

在图 1-43 所示电路图中，HL1 为交流接触器 KM1 工作指示灯，即电动机 M1 工作指示；HL2 为时间继电器 KT1 工作指示灯；起动时亮，运行时灭；HL3 为交流接触器 KM2 工作指

示灯；即电动机 M2 工作指示；HL4 为时间继电器 KT2 工作指示灯；起动时亮，运行时灭；HL5 为交流接触器 KM3 工作指示灯；即电动机 M3 工作指示。K 为转换开关，转换开关置 1 时为自动起动、停电后来电自动工作；转换开关置 2 时为手动起动、失电压保护。

以转换开关置 2 时工作为例：按下按钮 SB2，交流接触器 KM1 的线圈得电，主回路中 KM1 主触头闭合，电动机 M1 起动；KM1 辅助常开触头①闭合（自锁），KM1 辅助常开触头②闭合，时间继电器 KT1 线圈得电，KT1 常开触头③延时闭合，交流接触器 KM2 线圈得电，主回路中 KM2 主触头闭合，电动机 M2 起动；KM2 辅助常开触头③自锁；KM2 辅助常开触头④闭合，时间继电器 KT2 线圈得电，KT2 常开触头⑤延时闭合，交流接触器 KM3 的线圈得电，主回路中 KM3 主触头闭合，电动机 M3 起动；KM3 辅助常开触头⑤自锁，KM3 辅助常开触头⑥闭合，中间继电器 KA 线圈得电，KA 常闭触头⑦、⑧断开，三台电动机起动完毕。

电动机停止；按下按钮 SB3，接触器 KM1、KM2、KM3 线圈失电，接触器 KM1、KM2、KM3 主触头断开，电动机 M1、M2、M3 停止运转。在工作中断电，需重新按下按钮 SB2 起动，电路具有失电压保护。

如果要求电路在停电又重新来电能自动起动工作，将转换开关置 1，按下按钮 SB1（不能自动复位），工作过程如上所述，停止时按下按钮 SB1。

图 1-43 所示电路是由时间继电器 KT1、KT2 延时，分时起动 M1、M2、M3，时间间隔可根据电动机起动时间设定，以达到了分时起动、降低起动电流的目的。中间继电器 KA 在三台电动机起动后工作，使两个时间继电器线圈断电，以延长时间继电器的使用寿命、减少损耗，提高了控制电路的可靠性。

第 2 章　电动机制动控制电路

实例 1　电磁抱闸制动控制电路

电动机断电后，能使电动机在很短的时间内就停转的方法，称作制动控制。制动控制的方法常用的有两类，即机械制动与电力制动，机械制动是利用机械装置，使电动机迅速停转的方法，经常采用的机械制动设备是电磁抱闸，电磁抱闸的外形结构如图 2-1 所示。

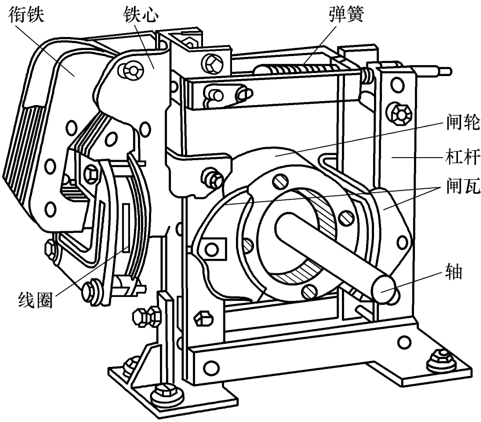


图 2-1　电磁抱闸的外形结构

电磁抱闸主要由两部分构成：制动电磁铁和闸瓦制动器。制动电磁铁由铁心和线圈组成；线圈有的采用三相电源，有的采用单相电源。闸瓦制动器包括：闸瓦、闸轮、杠杆和弹簧等。闸轮与电动机装在同一根转轴上，制动强度可通过调整弹簧力来改变。

电磁抱闸制动是机械制动，在电动机失电后利用外加的机械作用力，使电动机迅速停止转动。外加的机械作用力是靠电磁制动抱闸摩擦片紧紧抱住与电动机同轴的制动轮来产生的，电磁抱闸制动分为断电电磁抱闸制动和通电电磁抱闸制动两种。

1. 断电电磁抱闸制动的控制电路

图 2-2 是断电电磁抱闸制动的控制电路。制动轮通过联轴器直接或间接与电动机主轴相连，电动机转动时，制动轮也跟着同轴转动。工作原理如下：

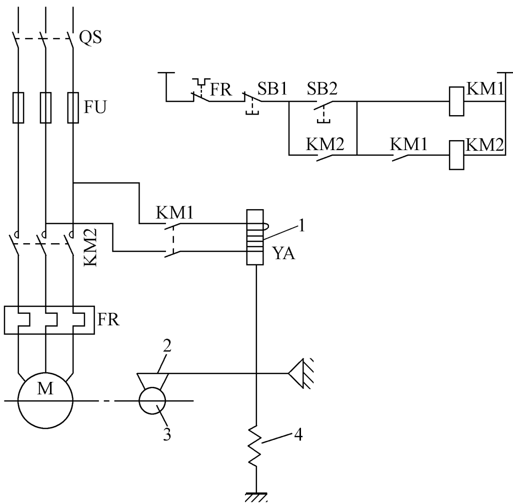


图 2-2　断电电磁抱闸制动控制电路

1—电磁铁　2—制动闸　3—制动轮　4—弹簧

合上电源开关 QS。按下起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈得电，接触器 KM1 主触头闭合，抱闸电磁铁绕组得电，电磁铁心产生的电磁力抬起紧紧抱住电动机制动轮的抱闸摩擦片，松开制动轮。接触器 KM1 线圈得电后，接触器 KM2 线圈顺序得电吸合，接触器 KM2 的主触头闭合，电动机接入电源起动运转，接触器 KM2 的辅助常开触头自锁。按下停止按钮 SB1，接触器 KM1、KM2 线圈失电，KM2 的辅助常开触头复位自锁解除，接触器 KM1、KM2 主触头切断抱闸

电磁铁绕组和电动机电源，抱闸摩擦片在弹簧作用下紧压在制动轮上，依靠摩擦力使电动机快速停车。

在图 2-2 所示的控制电路图中，接触器 KM1 和 KM2 线圈采取顺序得电，即电磁铁线圈 YA 先通电，待电磁抱闸工作后，电动机定子绕组才接通电源。可有效避免电动机在起动前瞬时出现的电动机定子绕组通电而转子被制动不转的短路运行状态。

断电电磁抱闸制动控制电路的最大优点是：不会因供电电源中断或电气电路故障而使制动的安全性和可靠性受到影响。其缺点是：在系统调试时因电动机转轴不能转动而不便调整；电磁抱闸线圈长期通电降低了系统的可靠性。

2. 通电电磁抱闸制动控制电路

图 2-3 是通电电磁抱闸制动控制电路。电路工作原理：按下起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈得电，接触器 KM1 主触头闭合，KM1 辅助常开触头自锁，电动机起动运行。按停止按钮 SB1，接触器 KM1 线圈失电，辅助常开触头复位自锁解除，接触器主触头分断，电动机电源被切断。接触器 KM2 线圈和时间继电器 KT 线圈同时得电，接触器 KM2 主触头闭合，抱闸电磁铁线圈通电，电磁铁铁心产生的电磁力使抱闸摩擦片紧紧抱住电动机的制动轮，同时时间继电器 KT 开始计时。当电动机转速在电磁抱闸作用下下降至零时，时间继电器 KT 的计时时间到达设定时间，时间继电器常闭触头延时断开，使接触器 KM2 线圈失电，辅助常开触头复位自锁解除，接触器 KM2 主触头分断，抱闸电磁铁线圈和时间继电器 KT 线圈失电，从而使电磁铁绕组断电，电磁抱闸摩擦片脱离电动机制动轮。

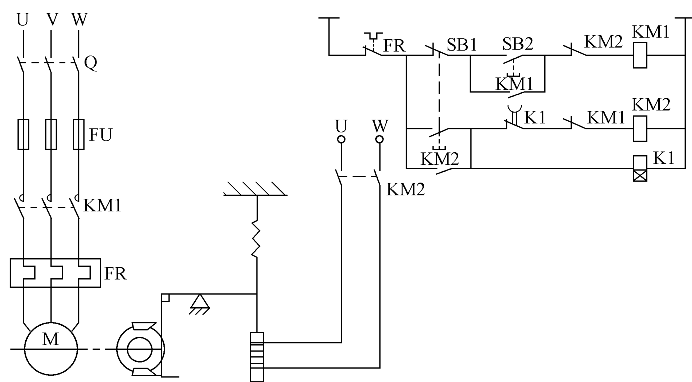


图 2-3　通电电磁抱闸制动控制电路

3. 电磁抱闸制动控制电路

电磁抱闸制动控制电路如图 2-4 所示。接通电源开关 QS 后，按起动按钮 SB2，接触器 KM 线圈获电工作并自锁。电磁抱闸 YB 线圈获电，吸引衔铁（动铁心），使动、静铁心吸合，动铁心克服弹簧拉力，迫使制动杠杆向上移动，从而使制动器的闸瓦与闸轮分开，取消对电动机的制动；与此同时，电动机得电起动至正常运转。当需要停车时，按停止按钮 SB1，接触器 KM 断电释放，电动机的电源被切断的同时，电磁抱闸的线圈也失电，衔铁被释放，在弹簧拉力的作用下，使闸瓦紧紧抱住闸轮，电动机被制动，迅速停止转动。

采用图2-4控制电路，有时会因制动电磁铁的延时释放，造成制动失灵。造成制动电磁铁延时的主要原因：制动电磁铁线圈并接在电动机引出线上。电动机电源切断后，电动机不会立即停止转动，它要因惯性而继续转动。由于转子剩磁的存在，使电动机处于发电运行状态，定子绕组的感应电动势加在电磁抱闸YB线圈上。所以当电动机主电路电源被切断后，YB线圈不会立即断电释放，而是在YB线圈的供电电流小到不能使动、静铁心维持吸合时，才开始释放。

解决上述问题的简单方法是，在线圈YB的供电回路中串入接触器KM的常开触头。如果辅助常开触头容量不够时，可选用具有5个主触头的接触器。或另外增加一个接触器，将后增加接触器的线圈与原接触器线圈并联。将其主触头串入YB的线圈回路中。这样可使电磁抱闸YB的线圈与电动机主电路同时断电，消除了YB的延时释放。防止电磁抱闸延时的制动控制电路如图2-5所示。

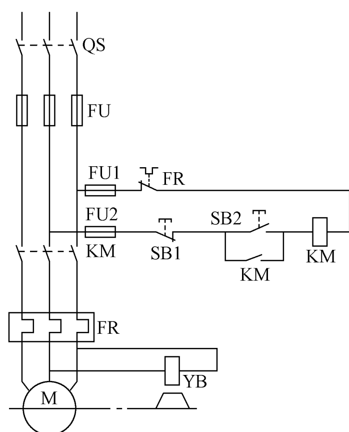


图2-4　电磁抱闸制动控制电路

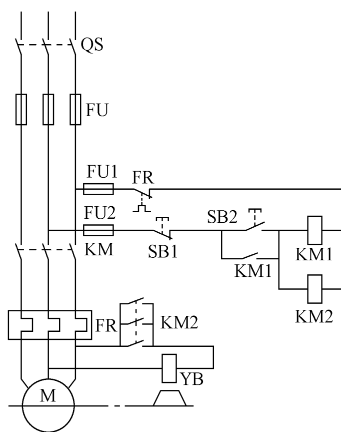


图2-5　防止电磁抱闸延时的制动控制电路

电磁抱闸制动的优点是制动力矩大，制动迅速，安全可靠，停车准确。其缺点是制动愈快，冲击振动就愈大，对机械设备不利。一般升降类机械设备，如电梯、吊车、卷扬机等，应选用断电电磁抱闸制动方式；制动频繁的机械设备应选用通电电磁抱闸制动方式。

实例2　电动机电磁离合器制动控制电路

图2-6是电动机电磁离合器制动控制电路。电路在电动机正向或反向起动和运转过程中，由于电磁离合器的线圈YC没有得电，故电磁离合器不工作。当电动机需要停止时，按下停止按钮SB1，SB1的常闭触头断开，接触器KM1或KM2的主触头和辅助常开触头复位，接触器主触头将电动机定子绕组电源切断，辅助常开触头解除自锁。同时SB1的常开触头闭合使电磁离合器YC得电吸合，将电磁离合器摩擦片压紧在电动机制动轮上而实现制动，使电动机的惯性转速迅速下降。当电动机转速下降至零时，松开停止按钮SB1，电磁离合器线圈YC断电，电磁离合器制动过程结束。电磁离合器的优点是体积小，传递转矩大，操作方便，运行可靠，制动方式比较平稳且迅速。

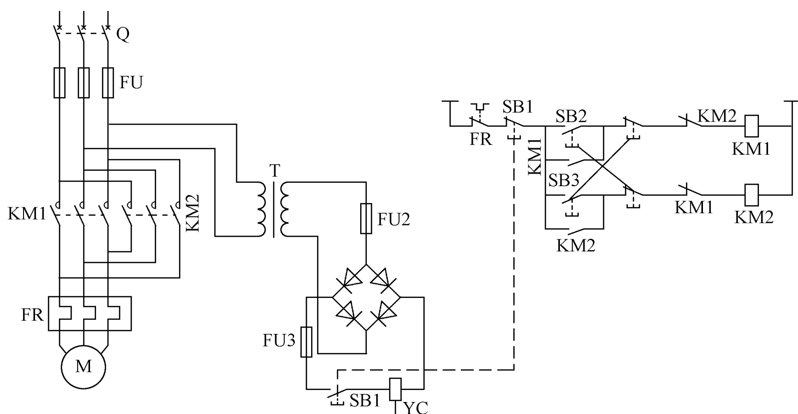


图 2-6　电磁离合器制动控制电路

实例 3　电动机短接制动控制电路

在定子绕组供电电源断开的同时，将定子绕组短接，由于转子存在剩磁，形成了转子旋转磁场，此磁场切割定子绕组，在定子绕组中产生感应电动势。因定子绕组已被 KM 常闭触头短接，所以在定子绕组回路中有感应电流，该电流又与旋转磁场相互作用，产生制动转矩，迫使转子减速停转。电动机短接制动控制电路如图 2-7 所示。

短接制动实质是消耗转子的动能而进行的制动，由于这种制动所消耗的能量小，制动平稳，所以在生产中得到广泛应用。但是这种短接制动在实际应用中，常出现烧断熔断器的现象，在有的场合下根本不能使用。究其原因，主要是由相间瞬间短路引起。当按下停止按钮 SB1，常闭触头闭合，常开触头（主触头）断开，主动触头断开的一瞬间，动静触头间将有电弧产生，电弧的强弱与点动频数和负载轻重等因素有关。在频繁点动和重负载的情况下，电弧就强，且持续时间也较长，这时熔断器 FU 极易熔断。通过分析知，由于较强的电弧能持续一定时间，结果会造成已经断开的主触头动静触头之间瞬间短路，烧断熔断器。短接制动适用于小容量的高速异步电动机及制动要求不高的场合。短接制动的优点是无需特殊的控制设备，简单易行。

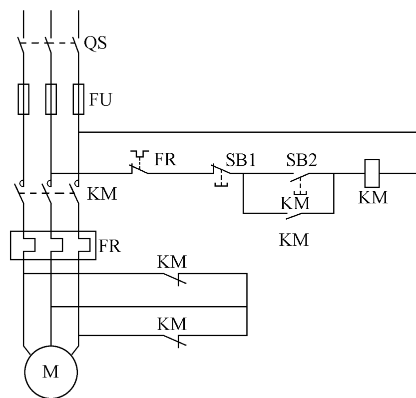


图 2-7　电动机短接制动电路

实例 4　电动机单向起动反接制动控制电路

1. 电动机单向起动反接制动控制电路（一）

电动机旋转磁场的旋转方向与电流相序一致，因此只要改变电动机三相电源的相序并串入反接制动电阻，就可以达到尽快使电动机停止运行的目的。反接制动是利用改变电动机电源电压相序，使电动机迅速停止转动的一种电气制动方法。由于电源相序改变，定子绕组产

生的旋转磁场方向也发生改变，即产生与原方向相反的电磁转矩。

当电动机接入反接制动，因电动机转子仍按原定子绕组产生的旋转磁场方向惯性旋转，而定子绕组产生的旋转磁场方向发生改变后，在电动机转子电路中产生与原方向相反的感应电流，根据载流导体在磁场中受力的原理可知，此时电动机转子要受到一个与原转动方向相反的力矩的作用，从而使电动机转速迅速下降，实现制动。反接制动控制电路应在电动机转速接近零时，能自动地立即将电源切断，以免电动机反向起动。通常采用按转速原则进行制动控制，采用速度继电器检测电动机在反接制动过程中电动机速度变化，当电动机速度接近零速时（100r/min），由速度继电器自动切断接入电动机定子绕组的电源。

反接制动的优点是制动效果好，其缺点是能量损耗大，由电网供给的电能和拖动系统的机械能全部都转化为电动机转子的热损耗。在反接制动开始时，电动机转子与定子旋转磁场的相对速度接近于2倍同步转速，所以定子绕组中的反接制动电流相当于全压直接起动时电流的2倍。为避免反接制动对电动机及机械传动系统的过大冲击，延长其使用寿命，一般在额定容量为10kW以上电动机的定子绕组中，串接对称电阻或不对称电阻，以限制反接制动转矩和制动电流，这个电阻称为反接制动电阻。反接制动电阻可三相均衡串接，也可两相串接，两相串接的电阻值应为三相串接的1.5倍。

单向起动反接制动控制电路（一）如图2-8所示。此电路采用速度继电器来检测电动机转速的变化。在120～3000r/min范围内，速度继电器的常开触头动作，当转速低于100r/min时，其常开触头复位。

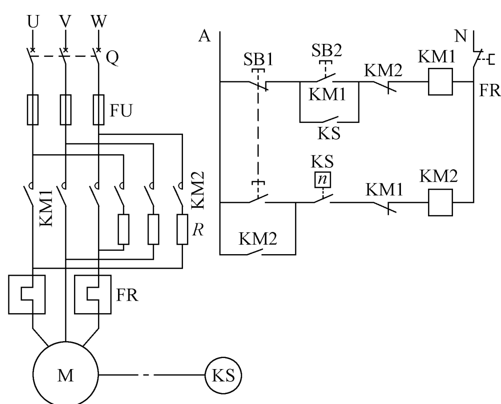


图2-8 单向起动反接制动控制电路（一）

在图2-8所示电路图中，KM1为单向运行接触器，KM2为反接制动接触器，KS为速度继电器，*R*为反接电阻。

起动时按下按钮SB2，KM1通电并自锁，电动机运转，当转速上升到120r/min以上时，速度继电器KS的动合触头闭合，为反接制动作准备。当按下停止复合按钮SB1时，SB1常闭触头先断开，KM1断电，电动机脱离电源，靠惯性继续高速旋转，KS常开触头仍闭合。当SB1常开触头闭合后，KM2通电并自锁，电动机串接电阻接反相序电源。电动机进入反接制动状态，转速迅速下降。当电动机转速降到低于100r/min时，速度继电器KS的常开触头复位，KM2断电，反接制动结束。电动机脱离电源后自然停车。

速度继电器的调整方法是，手持测速仪，对准电动机输出轴，测量电动机输出转速，此时按下按钮SB1，使制动控制电路工作，当电动机转速由额定转速向下降时，降至100r/min观察速度继电器常开触头，看是否分断，若不分断将螺钉向外拧，使反力弹簧力量减小，若分断过早，则将调整螺钉向内拧，使反力弹簧力量增大，如此反复多次，使电动机转速在100r/min左右时，速度继电器触头分断。

2. 电动机单向起动反接制动控制电路（二）

电动机单向反接制动的控制电路（二）如图2-9所示。电动机若在正方向运行时，如果把电源反接，电动机转速将由正转急速下降到零。如果反接电源不及时切除，则电动机又要

从零速反向起动运行。所以必须在电动机制动到零速时，将反接电源切断，电动机才能真正停下来。单向反接制动的控制电路是用速度继电器来检测电动机的转速。速度继电器与电动机转子是同轴连接在一起的，当电动机旋转时，速度继电器的常开触头闭合，电动机停止时常开触头打开。

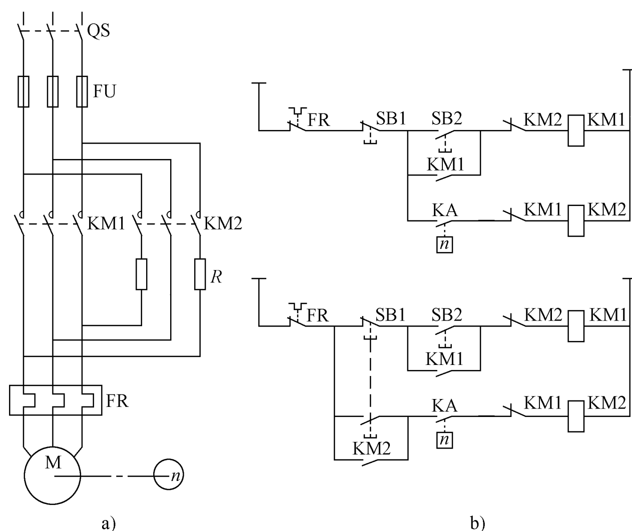


图 2-9　单向起动反接制动控制电路（二）

图 2-9a 所示的反接制动控制电路的工作过程是：按下按钮 SB2，接触器 KM1 线圈得电，接触器 KM1 主触头闭合，辅助常开触头自锁，而 KM1 辅助常闭触头分断，电动机正转运行。随着电动机转速的升高，速度继电器 KA 的常开触头闭合。

按下按钮 SB1，接触器 KM1 线圈失电，接触器 KM1 主触头分断电动机电源，KM1 辅助常开触头的自锁解除，KM1 辅助常闭触头复位，接触器 KM2 线圈得电，接触器 KM2 主触头闭合，电动机电源相序反接，电动机制动过程开始，电动机的转速迅速下降，当电动机转速下降接近 0 时，速度继电器 KA 动合触头复位，接触器 KM2 线圈失电，接触器主触头分断电动机反接电源，制动过程结束。

图 2-9a 所示的控制电路存在的问题是，在电动机停车时，若需用手转动电动机主轴调整时，速度继电器将随着电动机转子转动，其常开触头将闭合，接触器 KM2 线圈得电而使电动机接通电源发生制动作用，使调整工作不能进行。经改进的控制电路如图 2-9b 所示。控制电路中的停止按钮使用了复合按钮 SB1，并在其常开触头上并联了 KM2 的辅助常开触头，使 KM2 自锁。这样在用手转动电动机时，虽然 KA 的常开触头闭合，但只要不按停止按钮 SB1，接触器 KM2 线圈就不会得电，只有在操作停止按钮 SB1 时，接触器 KM2 线圈才能得电，反接制动电路才能工作。

图 2-9b 所示电路的工作原理：按下起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈得电，接触器 KM1 主触头闭合，辅助常开触头自锁，电动机起动运行。速度继电器 KA 的常开触头闭合，为反接制动接触器 KM2 线圈通电准备了条件。

停车时，按下停止按钮 SB1，接触器 KM1 线圈失电，接触器 KM1 主触头分断电动机三相电源。此时电动机的惯性转速仍然很高，KA 的常开触头仍闭合，接触器 KM2 线圈得电，

主触头闭合，将改变相序的电源接入电动机定子绕组，电动机进入串接制动电阻 R 的反接制动状态。当电动机转子的转速接近零速（100r/min）时，速度继电器 KA 的常开触头复位，接触器 KM2 线圈失电，接触器 KM2 主触头分断电动机定子绕组电源，反接制动过程结束。

3. 电动机单向起动反接制动控制电路（三）

电动机单向起动反接制动控制电路（三）如图 2-10 所示。起动时，闭合电源开关 QS，按起动按钮 SB2，接触器 KM1 得电闭合并自锁，电动机起动运转。当电动机转速升高到一定值时（如 100r/min），速度继电器 KS 的常开触头闭合，为反接制动做好准备。

停止时，按停止按钮 SB1（一定要按到底），按钮 SB1 常闭触头断开，接触器 KM1 失电释放，而按钮 SB1 的常开触头闭合，使接触器 KM2 得电吸合并自锁，KM2 主触头闭合，串入电阻 R_B 进行反接制动，电动机产生一个反向电磁转矩，即制动转矩，迫使电动机转速迅速下降。当电动机转速降至约 100r/min 以下时，速度继电器 KS 常开触头断开，接触器 KM2 线圈断电释放，电动机断电，防止了反向起动。

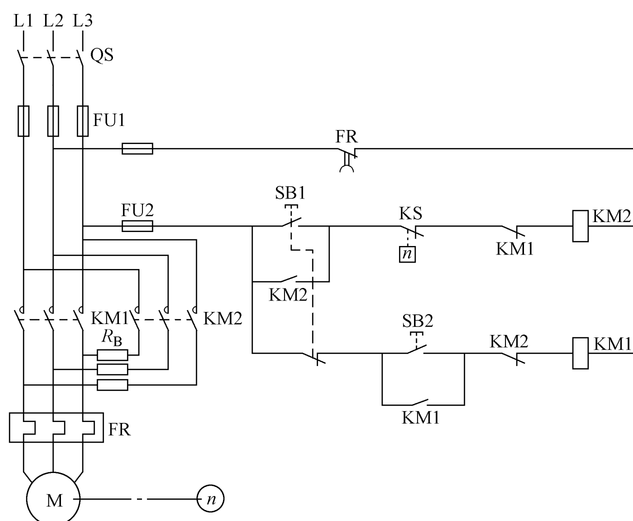


图 2-10 单向起动反接制动控制电路（三）

由于反接制动时，转子与定子旋转磁场的相对速度接近两倍的同步转速，故反接制动时，转子的感应电流很大，定子绕组的电流也随之很大，相当于全压直接起动时电流的两倍。为此，一般在 4.5kW 以上的电动机采用反接制动时，应在主电路中串接一定的电阻器，以限制反接制动电流，这个电阻称为反接制动电阻，用 R_B 表示，反接制动电阻器有三相对称和两相不对称两种联结方法，图 2-10 所示电路为对称接法，如某一相不串接电阻器，则为二相不对称接法。

串接的制动电阻 R_B 的阻值可用下式计算

$$R_B = K \times U_\Phi / I_{st} \tag{2-1}$$

式中 R_B——反接制动电阻器的阻值（Ω）；

U_Φ——电动机绕组的相电压（V）；

I_{st}——电动机全压起动电流（A）；

K——系数，如果要求反接制动的最大电流等于全压起动电流，K 取 0.13；如果要求反接制动最大电流为全压起动电流的一半，K 取 1.5。

若在反接制动时，仅在两相的定子绕组中串接制动电阻，则选用的制动电阻的数值应是上式计算值的 1.5 倍。不频繁起动时，反接制动电阻的功率按下式计算

$$P_R = (1/4) I_n^2 R_B \tag{2-2}$$

式中 I_n——电动机额定电流（A）。

频繁起动时，反接制动电阻的功率按下式计算

$$P_{R} = (1/3 \sim 1/2) I_{n}^{2} R_{B} \tag{2-3}$$

实例 5　电动机可逆运行反接制动控制电路

1. 电动机可逆运行反接制动控制电路（一）

电动机可逆运行的反接制动控制电路（一）如图 2-11 所示。正向运行的反接制动过程如下：按下正向起动按钮 SB2，正向接触器 KM1 线圈得电，主触头闭合将定子绕组接至相序为 U、V、W 的三相电源，电动机正向运行，接触器 KM1 辅助常开触头自锁。速度继电器 KA-Z 的常闭触头断开，常开触头闭合。在接触器 KM2 线圈电路中起联锁作用的 KM1 常闭辅助触头比 KA-Z 常开触头的动作时间早，为接触器 KM2 线圈反接制动做好准备。

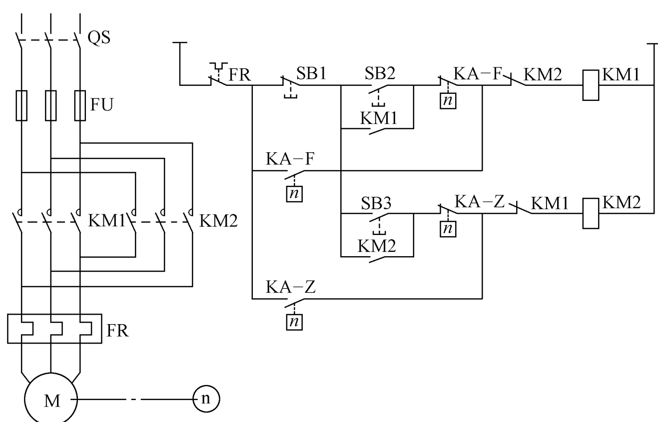


图 2-11　电动机可逆运行反接制动控制电路（一）

按停止按钮 SB1，接触器 KM1 线圈失电，接触器 KM1 主触头分断电动机定子绕组电源，接触器辅助常开触头复位自锁解除，但电动机转子惯性速度仍很高，速度继电器 KA-Z 常开触头仍闭合，接触器 KM1 辅助常闭触头复位，接触器 KM2 线圈得电，使定子绕组接入相序改变为 W、V、U 的电源，电动机进入正向反接制动状态。当电动机转子的速度接近零时，速度继电器 KA-Z 的常闭触头和常开触头均复位，接触器 KM2 的线圈失电，接触器 KM2 主触头分断，接入电动机定子绕组的反接制动电源，电动机正向反接制动结束。

反向运行的反接制动过程如下：按反向起动按钮 SB3，反向接触器 KM2 线圈得电，接触器 KM2 主触头闭合，相序为 W，V，U 的电源接入电动机定子绕组，电动机反向运行，接触器 KM2 辅助常开触头自锁。在接触器 KM1 线圈电路中，起联锁作用的 KM2 辅助常闭触头比 KA-F 常开触头的动作时间早，KA-F 常开触头的闭合，为接触器 KM1 线圈反接制动做好准备。

当按停止按钮 SB1 时，接触器 KM2 线圈失电，接触器 KM2 主触头分断电动机定子绕组电源，接触器 KM2 辅助常开触头复位自锁解除，但电动机转子惯性速度仍很高，速度继电器 KA-F 常开触头仍闭合，接触器 KM2 辅助常闭触头复位，KM1 线圈得电吸合，定子绕组接至相序为 U，V，W 的电源，电动机进入反向反接制动。

当电动机转子的速度接近零时，速度继电器KA-F的常闭触头和常开触头均复位，接触器KM1的线圈失电，接触器KM1主触头分断接入电动机定子绕组的反接制动电源，电动机反向反接制动结束。

图2-11所示的电动机可逆反接制动控制电路存在的缺点是：当电动机拖动机械设备检修或调试时，人为地转动电动机转子，如果转速达到100r/min左右时，速度继电器KA-Z或KA-F的常开触头就有可能闭合，从而使接触器KM1或KM2线圈得电，电动机定子绕组因短时接入电源而导致意外事故。

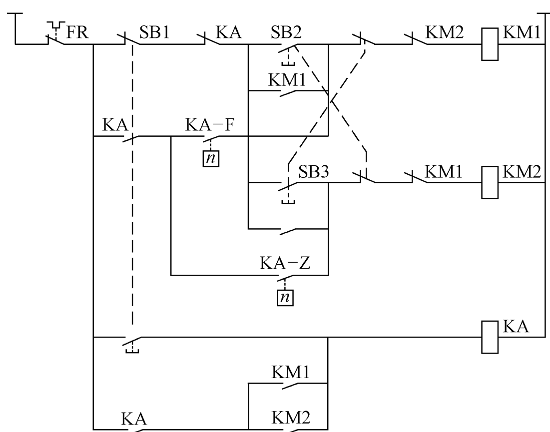


图2-12 改进的图2-11控制部分电路

在图2-11基础上改进的可逆反接制动控制电路如图2-12所示。该控制电路中增设了一只中间电器KA，其作用是：当人为转动电动机转子时，即使电动机转子转速达到100r/min左右时，速度继电器KA-Z或KA-F的常开触头闭合，由于中间继电器的常开触头的分断，也不会导致电动机意外接通而反向起动的事故。

定子串对称电阻可逆反接制动控制电路如图2-13所示。该电路在电动机正反转起动和反接制动时，在定子电路中都串接电阻，限流电阻R起到了在反接制动时限制制动电流，在起动时限制起动电流的双重限流作用。

正向运行的反接制动过程：按下正向起动按钮SB2，中间继电器KA1线圈得电，动合触头闭合并自锁，同时正向接触器KM1线圈得电，接触器KM1主触头闭合，电动机正向串入限流电阻R起动。电动机起动初始阶段，电动机尚未达到使速度继电器常开触头动作的转速，速度继电器常开触头KA-Z未闭合，中间继电器KA3线圈不得电，接触器KM3线圈也不得电。

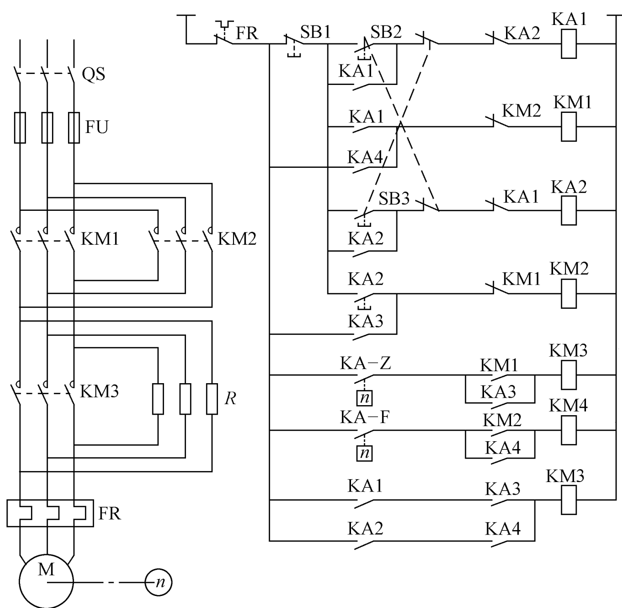


图2-13 定子串对称电阻可逆反接制动控制电路

当电动机转速升高至速度继电器常开触头闭合的转速时，速度继电器常开触头KA-Z闭合，接触器KM3线圈得电，接触器KM3主触头闭合短接限流电阻R，电动机进入全压运行。

按停止按钮SB1，中间继电器KA1线圈失电，KA1常开触头分断接触器KM3线圈电路，

使限流电阻 R 再次串入电动机定子电路；同时，接触器 KM1 线圈失电，KM1 主触头切断电动机三相电源。

此时因电动机惯性转速仍较高，速度继电器的常开触头 KA-Z 仍闭合，KA3 线圈仍保持得电状态。在 KM1 线圈失电，KM1 辅助常闭触头复位，接触器 KM2 线圈得电，KM2 主触头将电动机定子绕组电源改变相序接入，电动机进行反接制动。在制动过程中，电动机定子绕组一直串有限流电阻 R 实现限制制动电流。当电动机转速接近零时，速度继电器常开触头 KA-Z 复位断开，中间继电器 KA3 和接触器 KM2 线圈相继失电，制动过程结束，电动机停转。

在图 2-13 所示的控制电路中，当电动机处于任一方向运行时，若要改变其运转方向，只要按下相应方向的起动按钮，控制电路便自动完成反向和制动的全部过程。例如，电动机正向运行时，若要使其反向运行，则按下反向起动按钮 SB3，通过中间继电器 KA2 和接触器 KM2 控制电动机实现反接制动，当电动机转速降至零时，控制电路再完成电动机的反向起动。限流电阻 R 在电动机的起动和制动阶段均串入电动机的定子绕组中，以限制制动电流和起动电流。只有当电动机在正、反向转速升高达到速度继电器常开触头动作值时，速度继电器的 KA-Z、KA-F 常开触头闭合，中间继电器 KA3 或 KA4 及接触器 KM3 线圈得电相继吸合时，限流电阻 R 才被短接，使电动机进入全压的正向或反向运行。

该电路可以克服图 3-11 电路的缺点，不会因 KA-Z 或 KA-F 触头的偶然闭合而引起意外事故。且其操作方便，具有触头、按钮双重联锁，运行安全可靠，是一个较完善的控制电路。

2. 电动机可逆运行反接制动控制电路（二）

在生产过程中，主轴电动机断电后由于惯性的作用，停车时间拖的太长，影响生产率，并造成停机位置不准确，工作不安全。为了提高生产率和获得准确停机位置，必须对电动机采用电气制动。电动机可逆运行反接制动控制电路（二）如图 2-14 所示。该电路制动快，效果明显。对于容量在 10kW 及以上三相异步电动机，可逆运行反接制动电路必须串入限流制动电阻。

合上电源开关 QF，按下正转起动按钮 SB2，KM1 通电并自锁，电动机串入电阻接入正序电源起动，时间继电器 KT2 在达到设定的时间时，KM3 通电，短接电阻，电动机在全压下起动进入正常运行。

需停车时，按下 SB1，KM1、KM3 相继断电，电动机脱开正序电源并串入电阻，同时 KA 通电，其常闭触头（12-13）又再次切断 KM3 电路，使 KM3 无法通电，保证电阻 R 串接于定子电路中，KT1 线圈失电，其常开触头（8-9）延时断开，使 KM2 通电，电动机串接电阻接上反序电源，实现反接制动；KM2 另一触头（1-12）闭合，使 KA 仍通电，确保 KM3 始终处于断电状态，制动电阻 R 始终串入。当 KT1 延时时间到，KT1（8-9）断开，KM2、KA 断电，反接制动结束，电动机停止。

电动机反向起动和停车反接制动过程与上述工作过程相同。注意时间继电器的时间不能调节过长，否则电动机将反向运转，而达不到制动的目的。

3. 电动机可逆运行反接制动控制电路（三）

电动机可逆运行反接制动控制电路（三）如图 2-15 所示。图中，电阻 R 是反接制动电阻，同时也具有限制起动电流的作用，该电路工作原理如下：合上电源开关 QS，按下正转

起动按钮SB2，KA3通电并自锁，其常闭触头断开，互锁KA4线圈电路，KA3常开触头闭合，使KM1线圈通电，KM1的主触头闭合，电动机串入电阻接入正序电源开始减压起动，当电动机转速上升到一定值时，KS的正转常开触头KS-1闭合，KA1通电并自锁，接触器KM3线圈通电，于是电阻*R*被短接，电动机在全压下进入正常运行。需停车时，按下停止按钮SB1，则KA3、KM1、KM3三只线圈相继断电。由于此时电动机转子的惯性转速仍然很高，KS-1仍闭合，KA1仍通电，KM1常闭触头复位后，KM2线圈随之通电，其常开主触头闭合，电动机串接电阻接上反序电源进行反接制动。转子速度迅速下降，当其转速小于100r/min时，KS-1复位，KA1线圈断电，接触器KM2释放，反接制动结束。

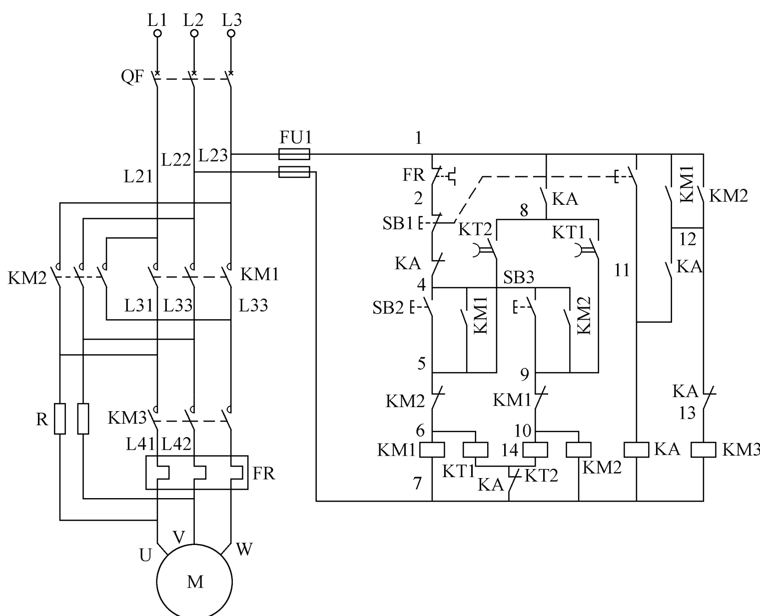


图2-14 电动机可逆运行反接制动控制电路（二）

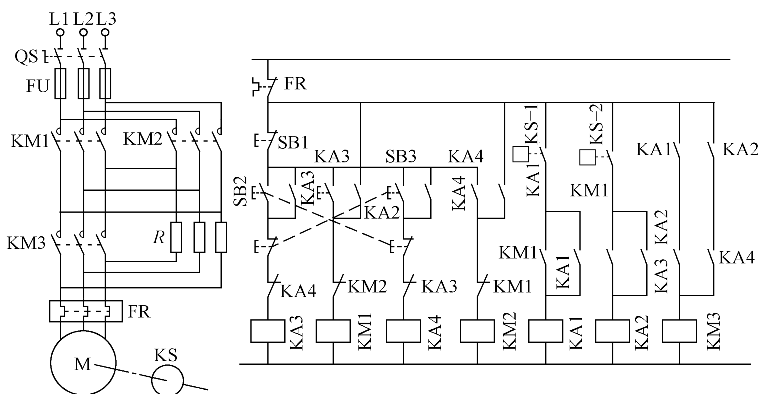


图2-15 电动机可逆运行反接制动控制电路（三）

4. 电动机可逆运行反接制动控制电路（四）

电动机可逆运行反接制动控制电路（四）如图2-16所示。在图2-16中，KS-1和KS-2

分别为速度继电器正反两个方向的两副常开触头，当按下 SB2 时，电动机正转，速度继电器的常开触头 KS-2 闭合，为反接制动作准备，当按下 SB3 时，电动机反转，速度继电器 KS-1 闭合，为反接制动作准备。中间继电器 KA 的作用是：为了防止当操作人员因工作需要而用手转动工件和主轴时，电动机带动速度继电器 KS 也旋转；当转速达到一定值时，速度继电器的常开触头闭合，电动机获得反向电源而反向转动，造成工伤事故。

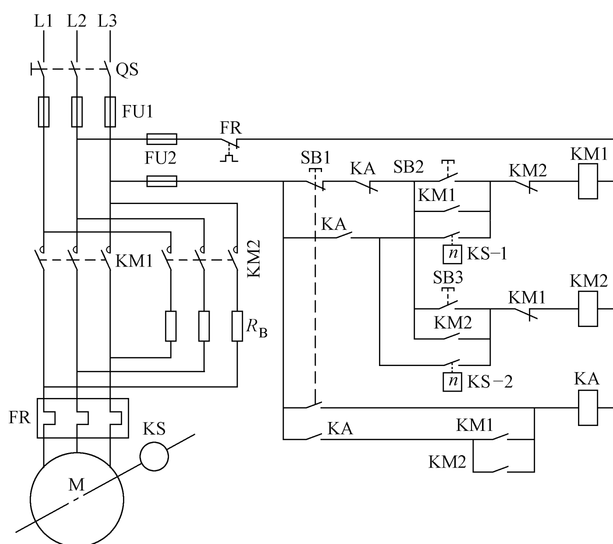


图 2-16　电动机可逆运行反接制动的控制电路（四）

闭合电源开关 QS 后按 SB2，接触器 KM1 获电闭合并通过其常开触头自锁，电动机正转起动，当电动机转速高于 120r/min 时，KS-2 闭合，为反接制动作准备。

当需要正转停止时，按 SB1，接触器 KM1 断电释放，而中间继电器 KA 获电吸合并自锁。KA 的常开触头断开，切断 KM2 自锁触头的供电回路，使其不能自锁。KA 的常开触头接通 KM2 的线圈回路，使 KM2 获电吸合，此时反接制动开始，当电动机的转速降至约 100r/min 时，速度继电器 KS-2 断开，使 KM2 断电释放，在中间继电器自锁回路中的常开触头 KM2 断开，使中间继电器 KA 也失电释放。反转的起动及反接制动的工作原理与上述相似。

5. 电动机可逆运行反接制动控制电路（五）

电动机可逆运行反接制动控制电路（五）如图 2-17 所示。图中主要由三个接触器 KM1、KM2、KM3，四个中间继电器 KA1、KA2、KA3、KA4，速度继电器 KS，反接制动电阻 R_B，正转按钮 SB2，反转按钮 SB3 及停止按钮 SB1，电源开关 QS，熔断器 FU1、FU2，热继电器 FR 等组成。

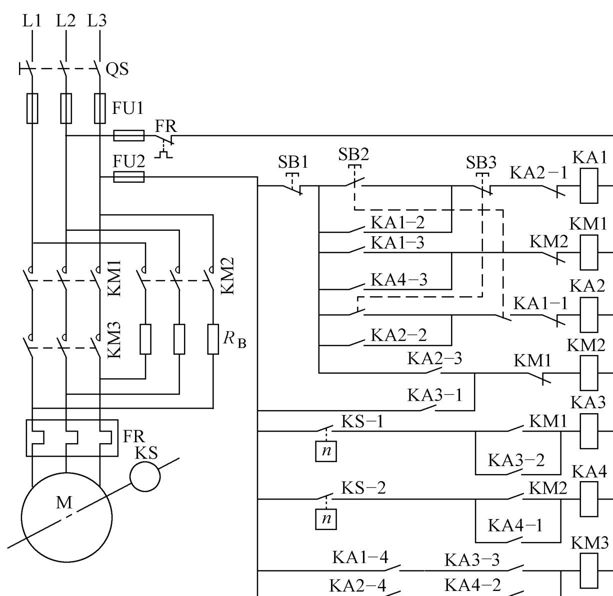


图 2-17　电动机可逆运行反接制动控制电路（五）

先合上电源开关 QS，按正转按钮 SB2，KA1 获电吸合并通过 KA1-2 闭合自锁，KA1-1 断开，闭锁了 KA2。KA1-4 闭合为 KM3 线圈获电作准备。KA1-3 闭合使 KM1 获电吸合，KM1 常闭触头断开，闭锁了

KM2。KM1 常开触头闭合为 KA3 获电作准备；KM1 主触头闭合，电动机串电阻 R_B 减压起动。当电动机转速上升到使 KS-1 闭合后，KA3 获电吸合，KA3-1 闭合为 KM2 线圈获电作准备。自锁触头 KA3-2 闭合自锁，KA3-3 闭合使 KM3 获电吸合，KM3 主触头闭合短接了电阻 R_B，电动机获全压正常运转。

需停止时按 SB1：KA1 失电释放，KA1-1 及 KA1-2 均恢复原始状态。KA1-4 断开使 KM3 断电释放，电阻 R_B 解除短接，串入主回路。KA1-3 断开使 KM1 断电释放，使电动机失电作惯性转动。同时 KM1 常闭触头恢复闭合，使 KM2 获电吸合，其主触头闭合，电动机反接制动（串电阻 R_B），当电动机转速低到约 100r/min 时，KS-1 断开使 KA3 断电释放，其触头均恢复原始状态，其中 KA3-1 断开后使 KM2 断电释放，电动机反接制动过程结束。相反方向的起动和制动的原理与上述相似。

在图 2-17 控制电路中，由于主电路串接了电阻 R_B，限制了反接制动电流，又能限制起动电流，所以该电路可以用在电动机功率较大的场所。该电路所用电器较多，造价较高，但其运行时安全可靠，操作也非常方便，电动机在运转时，如需换向运行，只要按动相应的起动按钮，电路便自动完成电动机的断电→串电阻反接制动→电动机转速近于零→串电阻限流换向起动→换向正常运行的全部过程。不必先按停止按钮，这样既简化了操作，又提高了电路的反应速度，且制动力很强，所以是一个比较完善的电路。该电路也有一些缺点：如所用电器元件较多，相应电路较复杂，且造价较高，在制动过程中冲击较大，故此，该电路适用于制动要求迅速，系统惯性较大而且制动不太频繁的场所。

实例 6　无需中间继电器的电动机可逆运行反接制动控制电路

图 2-18 所示电路为无需中间继电器的电动机可逆运行反接制动控制电路，在图 2-18 中可以看，KM1、KM2 为正、反转接触器，KM3 为短接电阻用接触器，电阻 R 既能限制反接制动电流，也能限制起动电流。电路工作过程如下：

1. 正向起动控制过程

将手动开关 SA 扳向运行位置（闭合），按下正向起动按钮 SB1，接触器 KM1 线圈通电自锁，KM1 的主触头闭合，电动机在定子绕组串电阻 R 情况下减压起动。当转速上升到一定值时，速度继电器 KS1 动作，常开触头 KS1 闭合，KM3 线圈通电动作，KM3 的常开主触头闭合，切除电阻 R，电动机在全压下正转运行。

2. 正转向反转切换控制过程

按下反向起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈断电，KM1 的常开触头断开，使接触器 KM3 线圈断电，其常闭触头闭合，使接触器 KM2 线圈通电自锁，接通电动机反向电源，电动机在定子绕组串电阻 R 情况下反接制动，当转速下降到一定值时，速度继电器 KS1 复位，常开触头 KS1 断开。当转速时零时，电动机进入反向减压起动阶段。当转速反向上升到一定值时，速度继电器 KS2 动作，常开触头 KS2 闭合，KM3 线圈通电动作，KM3 的常开主触头闭合，切除电阻 R，电动机在全压下反转运行。

3. 停车控制过程（假定此时电动机正转）

将手动开关 SA 扳向停止位置（断开），KM1、KM3 线圈相继断电，电动机正向电源被切断，由于电动机转速还较高，速度继电器 KS1 的常开触头 KS1 仍闭合，KM1、KM3 断电后，常闭触头的闭合复位使反转接触器 KM2 线圈通电，接通电动机反向电源，电动机在定

子绕组串电阻 R 情况下进行反接制动。电动机转速迅速下降，当转速下降到小于 100r/min 时，KS1 的常开触头 KS1 断开，KM1 线圈断电，KM2 线圈也断电，反接制动结束。本电路在实际使用中，应注意以下两点：

①电路仅适用于小容量或轻载电动机直接正反转切换。

②电路可应用于带反接制动的自动往复控制电路中。

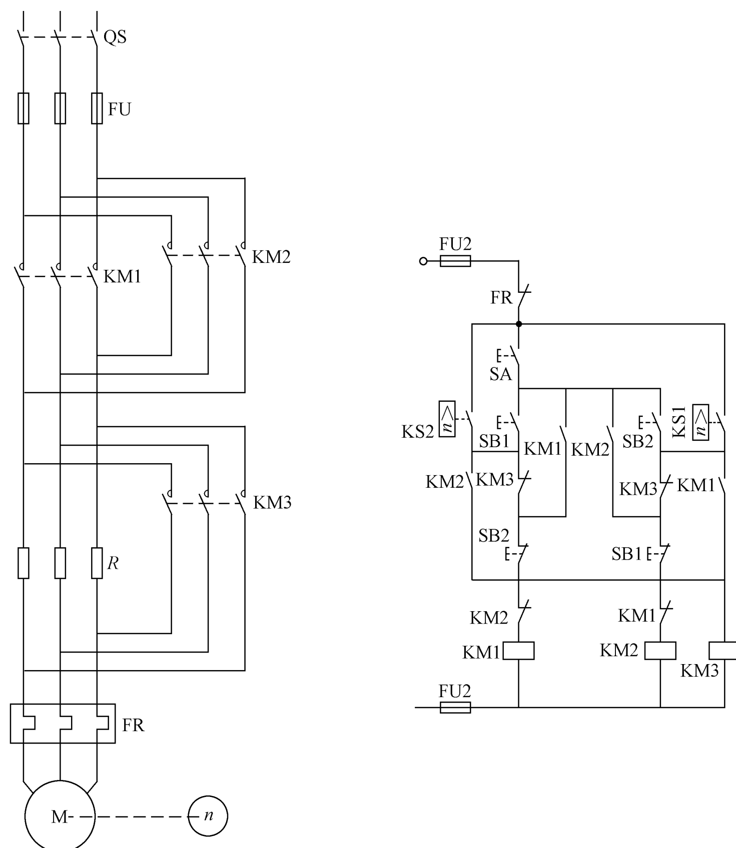


图 2-18　无需中间继电器的可逆运行反接制动控制电路

实例 7　电动机能耗制动控制电路

1. 电动机能耗制动控制电路（一）

三相笼型异步电动机的能耗制动是把转子储存的机械能转变成电能，又消耗在转子上，使之转化为制动力矩的一种方法。将正在运转的电动机从电源上切除，向定子绕组通入直流电流，便产生静止的磁场，转子绕组因惯性在静止磁场中旋转，切割磁力线，感应出电动势，产生转子电流，该电流与静止磁场相互作用，产生制动力矩，使电动机转子迅速减速、停转。

这种制动所消耗的能量较小，制动准确率较高，制动转矩平滑，但制动力较弱，制动力矩与转速成正比地减小。如需另设直流电源，费用较高。能耗制动适用于要求制动平稳、停位准确的场所，如铣床、龙门刨床及组合机床的主轴定位等。

电动机能耗制动控制电路（一）如图 2-19 所示。本电路适用于容量较小的电动机的能

耗制动，特点是电路简单，不用时间继电器，成本低。电路的工作原理是：合上刀开关HK，按下起动按钮SB1，接触器KM1线圈得电，电动机转动，同时电容器C被充电。按下停止按钮SB2时，接触器KM1失电，电容器C对线圈阻值为3kΩ的高灵敏继电器KM放电，使KM吸合，KM2接触器线圈得电，从而进行直流能耗制动。经一定时间后，C放电完毕，继电器KM释放，此时制动结束。选择电容器C的容量大小可改变制动时间的长短，整流二极管D1～D4反向击穿电压要求大于500V，电流根据电动机容量大小选择。KM2采用小电流接触器。

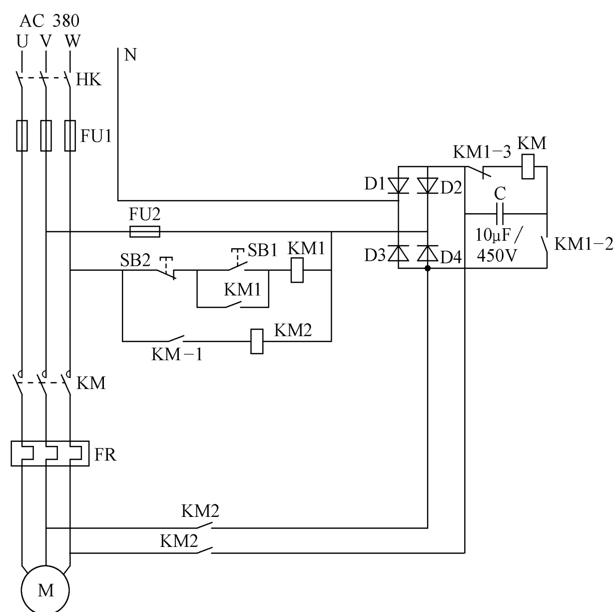


图2-19 电动机能耗制动控制电路（一）

2. 电动机能耗制动控制电路（二）

电动机能耗制动控制电路（二）如图2-20所示。接通交、直流电源，按下按钮SB2，使电动机起动，待电动机达到正常全压运行后，按下按钮SB1，观察电动机能耗制动的效果，调节时间继电器KT的延时时间，使电动机在停机后能及时切断直流电源。调整直流电压，使直流电流为电动机额定电流的1.5倍。

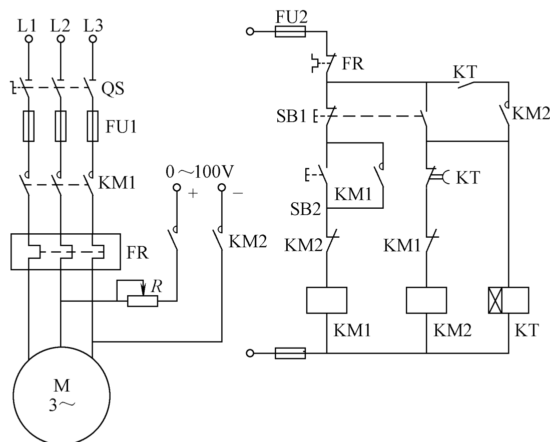


图2-20 电动机能耗制动控制电路（二）

实例8 电动机无变压器半波整流能耗制动自动控制电路

1. 电动机无变压器半波整流能耗制动控制电路（一）

电动机无变压器半波整流能耗制动

控制电路如图 2-21 所示。该控制电路适用于 10kW 以下电动机，该电路结构简单，附加设备较少，体积小，采用一只二极管半波整流器作为直流电源。图 2-21 所示电路中的元器件参数见表 2-1。

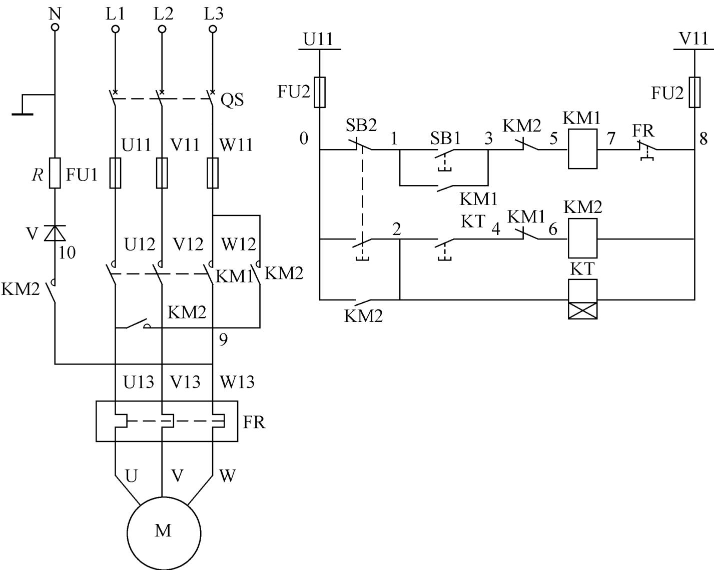


图 2-21　电动机无变压器半波整流能耗制动自动控制电路（一）

表 2-1　元器件参数

代号	名称	型号	规格	数量	备注
QS	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU1	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体 3A	3	
FU2	瓷插式熔断器	RC1-5A	2A	2	
KM1、KM2	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	2	
SB1、SB2	按钮	LAY3-11	一常开一常闭自动复位	2	SB1 绿 SB2 红
KT	通电延时时间继电器	JS7-1A	AC380V	1	
R	电阻		90Ω 0.3A	1	
D	二极管	2CZ	1000V5A	1	
FR	热继电器	JR-36	整定电流 0.63A	1	
M	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	1	

2. 电动机无变压器半波整流能耗制动自动控制电路（二）

电动机无变压器半波整流能耗制动自动控制电路（二）如图 2-22 所示。闭合电源开关 QS，按起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈获电吸合并自锁，电动机起动运行。停止时，按 SB1 按钮，使其常开触头可靠闭合，其常闭触头断开，使 KM1 断电释放，电动机断电作惯性旋转。SB1 常开触头闭合，使时间继电器 KT 和接触器 KM2 获电吸合并自锁。电动机进入半波整流能耗制动，待经过了预先整定的时间后（此时电动机已停转），KT 的延时断开常

闭触头断开，切断KM2线圈回路，使KM2断电释放，KM2断电后其常开触头KM2断开，使KT也失电释放，整个电路恢复至原始状态。

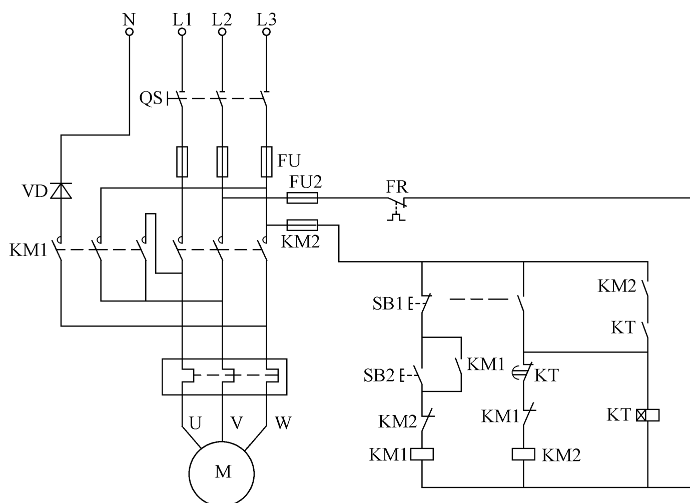


图2-22　无变压器半波整流能耗制动自动控制电路（二）

3. 电动机无变压器半波整流能耗制动自动控制电路（三）

电动机无变压器半波整流能耗制动自动控制电路（三）如图2-23所示。图中主电路与图2-22完全相同。在图2-23中，KM1是电动机运行用接触器，KM2为电动机制动用接触器，KT为断电延时型时间继电器，用来控制制动时间。

起动时按SB2，KM1与KT同时获电吸合并自锁，KM1获电吸合，使电动机获电运转；KT获电吸合，其常开延时释放触头瞬间闭合，为KM2获电做好准备。

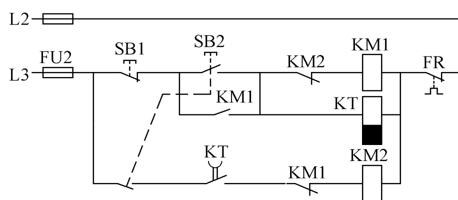


图2-23　无变压器半波整流能耗制动自动控制电路（三）

停止时，按SB1，KM1、KT同时断电释放，KM1释放使电动机失电，电动机凭惯性而继续旋转，KT断电使其常开触头KT进入延时释放时刻，待过了预定时间后（此时电动机已停转），KT常开触头断开，切断KM2线圈回路，KM2失电释放，制动过程结束，整个电路恢复至原始状态。

实例9　电动机无变压器半波整流能耗制动手动控制电路

电动机无变压器半波整流能耗制动手动控制电路如图2-24所示。图2-24所示主回路与图2-22主电路完全相同。图中，KM1为运行用接触器，KM2为制动用接触器，SB2为起动按钮，SB1为停止兼制动按钮。

起动时，按起动按钮SB2，KM1获电吸合并自锁，电动机起动运行。需停止时，按SB1按钮，且暂不松手，这时KM1断电，而KM2获电，电动机进入制动状态，当电动机停转后，立即松开停止按钮SB1，制动结束。

图 2-24 所示控制电路简单，所用电器元件少，但其功能较差而且不能准确定位，如果对准确定位要求较严，应采用半波整流能耗制动准确定位控制电路，如图 2-25 所示。

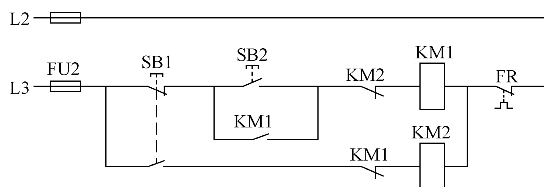


图 2-24　电动机无变压器半波整流能耗制动手动控制电路

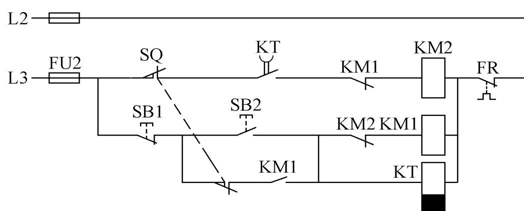


图 2-25　电动机半波整流能耗制动准确定位控制电路

在图 2-25 中，KM1 控制电动机的运行；KM2 控制电动机的制动；断电延时型时间继电器 KT 控制制动时间；SQ 为限位开关，控制运动部件的行程。

起动时，按起动按钮 SB2，接触器 KM1 获电吸合后，电动机转动，拖动机床的运动部件（如进刀机构）运动，到达预定位置时，触及限位开关 SQ，其常闭触头断开，接触器 KM1 和时间继电器 KT 均断电释放，同时限位开关 SQ 的常开触头闭合（此时 KM1 的常闭触头已恢复闭合），接通了 KM2 的线圈回路，使 KM2 获电吸合，电动机进行能耗制动。当 KT 到达预先整定的时间时，其延时常开触头断开，切断 KM2 的线圈回路，使 KM2 失电释放，电动机制动结束，整个电路恢复至原始状态。

这种控制电路适用于机床进给机构或其他要求准确定位的场所。但须注意限位开关 SQ，如距离按钮较近而距离接触器中的电源较远时，按接线图中的实线接线，反之则按接线图中的虚线接线。

实例 10　电动机半波整流能耗制动控制电路

电动机半波整流能耗制动控制电路如图 2-26 所示。电路的工作过程是：合上断路器 QF，接通三相电源。按下起动按钮 SB2，接触器 KM1 得电吸合并通过辅助常开触头自锁，电动机起动运行，KM1 辅助常闭触头断开接触器 KM2 线圈回路，实现互锁使接触器 KM2 不能动作。

停止时，按下按钮 SB1，SB1 的常闭断开 KM1 线圈失电。KM1 的辅助常闭触头复位闭合，SB1 的常开触头接通，使接触器 KM2 和时间继电器 KT 线圈得电吸合，并通过 KM2 辅助常开触头自锁，KM2 主触头闭合接通直流电源（制动开始），同时时间继电器 KT 开始延时，经延时后 KT 的延时常闭触头断开 KM2 线圈电源，KM2 失电释放，电动机停止转动。

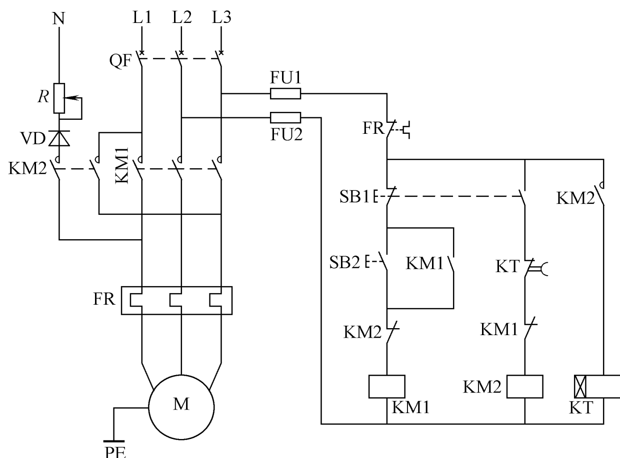


图 2-26　电动机半波整流能耗制动控制电路

图 2-26 所示电路的制动时间是由电阻 R 的大小决定的，R 阻值小制动速度快，但要求电阻的功率大，R 阻值大，制动的时间长。为防止 KM1 和 KM2 的误动作，KM1 与 KM2 采用辅助触头相互联锁。电动机的过载保护由热继电器 FR 完成。整流二极管的选择：二极管的额定电流应大于 3.5～4 倍的电动机空载电流。

实例 11　电动机有变压器全波整流能耗制动控制电路

电动机有变压器全波整流能耗制动控制电路如图 2-27 所示。该控制电路适用于 10kW 以上功率较大的电动机能耗制动，控制电路中的直流电源由单相桥式整流器供给，电阻 R 用以调节电流，从而调节制动强度。

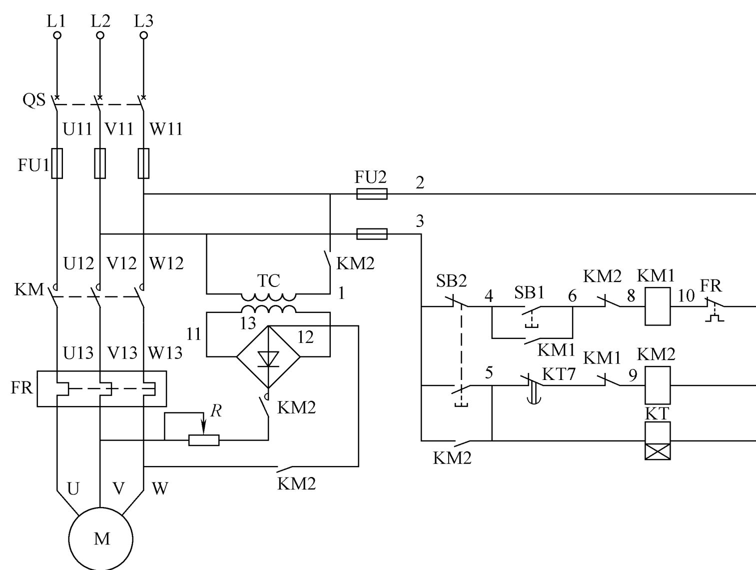


图 2-27　电动机有变压器全波整流能耗制动控制电路

图 2-27 所示电路的控制部分与无变压器半波整流能耗制动电路的控制电路部分完全相同，工作原理也相同，不同的是主电路。直流电由变压器降压后的单相桥式整流器供给，并可通过调节电阻 R 改变电流的大小，从而调节制动强度。

能耗制动的优点是制动准确、平衡，能量消耗较少；缺点是需附加直流电源装置，制动力较弱，在低速时，制动转矩小。能耗制动一般用于制动要求平稳、准确的场合，如磨床、立式铣床等控制电路中。

经检查安装牢固与接线无误后，接通交流电源，调节阻值 R，使能耗制动电流为 $I=I_N$ 及 $I=2I_N$（I_N=电动机额定电流）。图 2-27 所示电路中的元器件参数见表 2-2。

表 2-2　元器件参数

代号	名称	型号	规格	数量	备注
QS	低压断路器	DZ47	5A \ 3P	1	
FU1	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体 3A	3	
FU2	瓷插式熔断器	RC1-5A	2A	2	

（续）

代号	名称	型号	规格	数量	备注
KM1、KM2	交流接触器	CJX2-9/380	AC380	2	
SB1、SB2	按钮	LAY3-11	一常开一常闭自动复位	2	SB1 绿 SB2 红
KT	通电延时时间继电器	JS7-1A	AC380V	1	
R	可调电阻	BX7D-1/3	180 Ω 1.3A	1	
TC	变压器	B-300-8	380V/110V	1	厂编
VC	桥堆	KBPC1510	15A	1	
FR	热继电器	JR-36	整定电流 0.63A	1	
M	三相笼型异步电动机		380V 0.53A 160W	1	

实例 12　电动机全波能耗制动控制电路

电动机全波能耗制动控制电路如图 2-28 所示。电路工作过程：合上断路器 QF 接通三相电源，按下起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈通电并自锁，主触头闭合电动机接入三相电源而起动运行。

当需要停止时，按下停止按钮 SB1，KM1 线圈断电，其主触头全部释放，电动机脱离电源。此时，接触器 KM2 和时间继电器 KT 线圈通电并自锁，KT 开始计时，KM2 主触头闭合将直流电源接入电动机定子绕组，电动机在能耗制动下迅速停车。

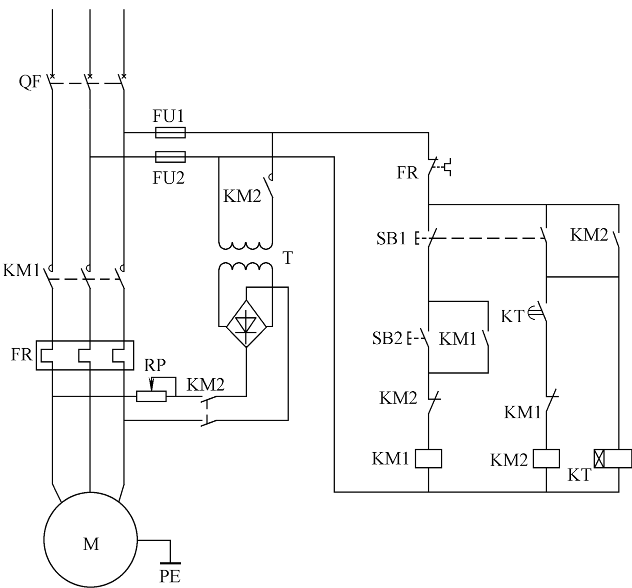


图 2-28　电动机全波能耗制动控制电路

当时间继电器 KT 的设定时间到，常闭触头延时断开时，接触器 KM2 线圈断电，KM2 常开触头断开直流电源，能耗制动结束，保证了停止准确。该电路的过载保护由热继电器完成。直流电源采用二极管单相桥式整流电路，电阻 *R* 用来调节制动电流大小，改变制动力的大小。图 2-28 所示电路的互锁环节有：

①KM2 常闭触头与 KM1 线圈回路串联，KM1 常闭触头与 KM2 线圈回路串联。保证了 KM1 与 KM2 线圈不可能同时通电，也就是在电动机没脱离三相交流电源时，直流电源不可能接入定子绕组。

②按钮 SB1 的常闭触头接入 KM1 线圈回路，SB1 的常开触头接入 KM2 线圈回路，按钮互锁也保证了 KM1、KM2 不可能同时通电，与上面的互锁触头起到同样作用。

实例 13　电动机有变压器的全波整流能耗制动控制电路

电动机有变压器的全波整流能耗制动电路如图2-29所示。图中：KM1为电动机正常运行接触器；KM2为制动接触器，它需有四个主触头，如果一个接触器的主触头数量不够，可用两个接触器代替；KT为通电延时型时间继电器，用来控制制动时间；T为降压变压器；VC为桥式整流器，由四只二极管组成；RP为滑线式变阻器，用来调整制动电流；FU3为变压器T的短路保护熔断器。

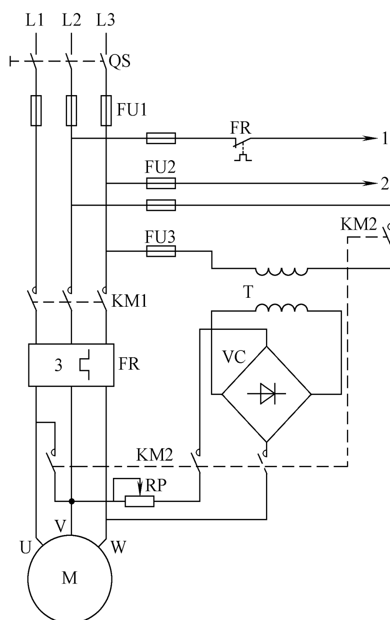


图2-29　电动机有变压器全波整流能耗制动电路

能耗制动所需要的直流电压 U_Z 和直流电流 I_Z 可分别用下列两个公式计算：

$$U_Z = I_Z \times R \tag{2-4}$$

$$I_Z = (3.5 \sim 4) I_0 \tag{2-5}$$

或

$$I_Z = 1.5 I_n \tag{2-6}$$

式中　U_Z——直流电压（V）；

I_Z——直流电流（A）；

R——直流电压所加定子绕组两端的冷态电阻，即温度为15℃时的电阻（Ω）；

I_0——电动机空载时的线电流（A）；

I_n——电动机的额定电流。

单向桥式全波整流时，能耗制动所需要的电源变压器二次交流电压 U_Z 和电流 I_Z：

$$U = 1.11 U_Z \tag{2-7}$$

$$I_Z = 1.11 I_Z \tag{2-8}$$

变压器所需的容量S（VA）：

$$S = I_Z \times U_Z \tag{2-9}$$

在设计或选用整流变压器时，可选用在10%处有抽头的变压器，以利调整。能耗制动比反接制动的优点是制动准确、平稳、能量消耗少；缺点是需附加直流电源装置，制动力较弱，在低速时制动转矩小。能耗制动一般用于制动要求平稳、准确的场所，如磨床、龙门刨床等控制电路中。

实例 14　电动机桥式能耗制动控制电路

电动机桥式能耗制动控制电路如图2-30所示。电路的工作过程是：接通QS，按下起动按钮SB2后，KM1得电，电动机旋转，这时KM2失电。按下停止按钮（复合按钮）SB1，KM1失电，电动机定子绕组与电源断开。与此同时，KM2得电，其常开触头接通整流电路，使直流电通入定子绕组，产生制动转矩，使电动机转速下降，当转速接近零时，松开复合按钮SB1，能耗制动结束。

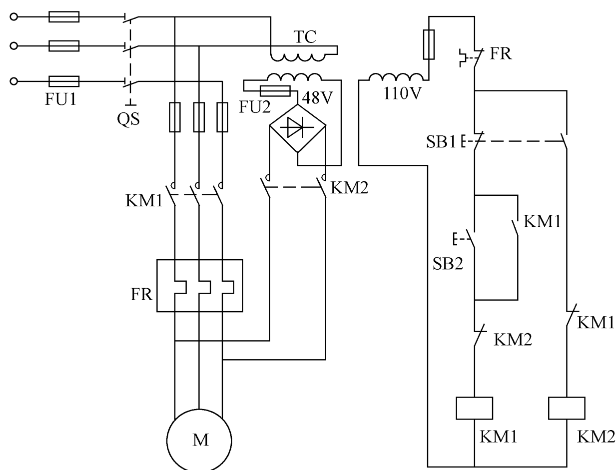


图 2-30　电动机桥式能耗制动控制电路

实例 15　电动机复合按钮与时间控制能耗制动控制电路

电动机能耗制动控制电路如图 2-31 所示。图 a、图 b 是分别用复合按钮与时间继电器实现能耗制动的控制电路。图中整流装置由变压器和整流元件组成。KM2 为制动用接触器，KT 为时间继电器。图 a 是一种手动控制的简单的能耗制动控制电路。要停车时按下 SB1 按钮，到制动结束放开按钮。图 b 利用时间继电器可实现自动控制，简化了操作。

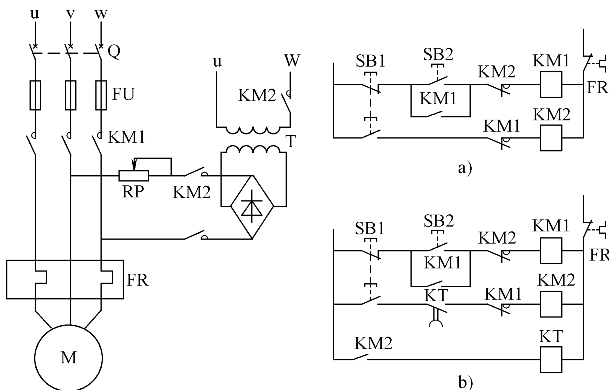


图 2-31　电动机能耗制动控制电路

制动作用的强弱与通入直流电流的大小和制动开始时电动机转速有关，在同样的转速下，电流越大制动作用越强。该电流的大小可由可调电阻来调节。该电流一般取电动机额定电流的 2～3 倍，如果过大将使电动机定子绕组过热。

实例 16　电动机按时间控制单向运行能耗制动控制电路

图 2-32 为按时间原则控制的单向能耗制动控制电路，电路的工作原理：按起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈得电，接触器主触头闭合，接触器辅助常开触头闭合自锁，使电动机正常运行。在需要电动机停止时，按下停止按钮 SB1，KM1 线圈失电，其主触头和辅助常开触头复位，电动机脱离三相交流电源。此时，接触器 KM2 线圈与时间继电器 KT 线圈相继得电，接触器 KM2 主触头闭合，将经过整流后的直流电通过电阻 *R* 接至电动机两相定子绕

组上，使电动机产生制动转矩。电动机转子的速度降低，当到达时间继电器 KT 的设定时间，时间继电器 KT 的常闭触头延时断开，使接触器 KM2 线圈和时间继电器 KT 线圈相继失电，切断接至电动机两相定子绕组上直流电源，能耗制动过程结束。

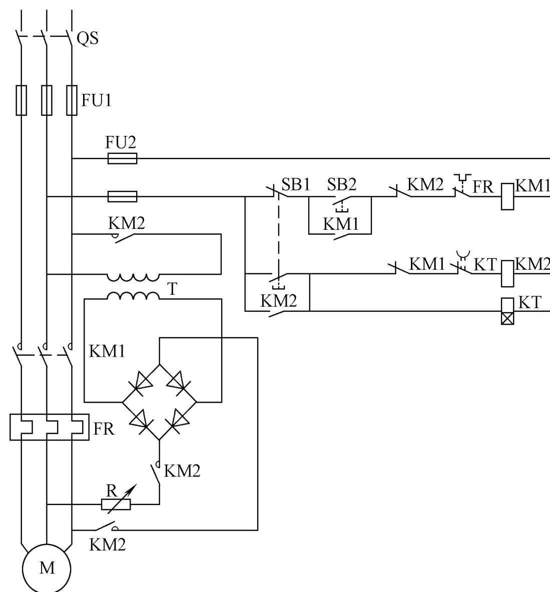


图 2-32　按时间原则控制的单向能耗制动控制电路

异步电动机能耗制动直流电源的经验估算方法是：制动电流 I_Z 一般取电动机空载电流的 3 ~ 4 倍，测量异步电动机任意两相定子绕组之间的直流电阻 R，直流电源的电压为 $U = I_Z \times R$。图 2-32 中直流电源中串接的可调电阻 R，可调节制动电流的大小。

实例 17　电动机按时间控制可逆运行能耗制动控制电路

图 2-33 为电动机按时间原则控制可逆运行的能耗制动控制电路，电动机在正常的运行过程中需要停止的过程如下：

按下停止按钮 SB1，接触器 KM1（KM2）线圈失电，接触器 KM1（KM2）主触头分断电动机三相交流电源，同时接触器 KM1（KM2）辅助常开触头复位解除自锁。接触器 KM3 和 KT 线圈得电，接触器 KM3、KT 辅助常开触头自锁，接触器 KM3 主触头闭合将经整流后的直流电接至电动机定子绕组，电动机能耗制动过程开始。由于接触器 KM3 常闭辅助触头分断，以保证在电动机制动过程中电动机的驱动电路不被接通。电动机在制动力矩作用下转速迅速下降，当转速接近零时，时间继电器 KT 的计时时间到达设定时间，时间继电器的常闭触头经过延时后断开，接触器 KM3 线圈失电，接触器 KM3 主触头分断接至电动机定子绕组的直流电源。接触器 KM3 的辅助常开触头复位自锁解除，时间继电器 KT 线圈也失电，能耗制动过程结束。

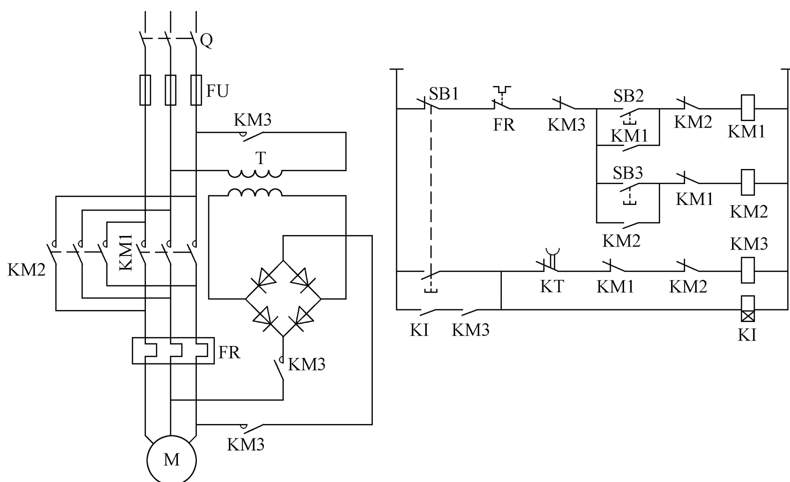


图 2-33　电动机按时间控制可逆运行能耗制动控制电路

实例 18　电动机按速度控制单向运行能耗制动控制电路

图 2-34 为按速度原则控制的单向能耗制动控制电路，该电路与图 2-32 所示的电路不同之处，只是在控制电路中将时间继电器 KT 改为安装在电动机轴的伸出端速度继电器 KA，用速度继电器 KA 的常开触头取代了时间继电器 KT 延时断开的常闭动断触头。能耗制动部分电路工作过程如下：

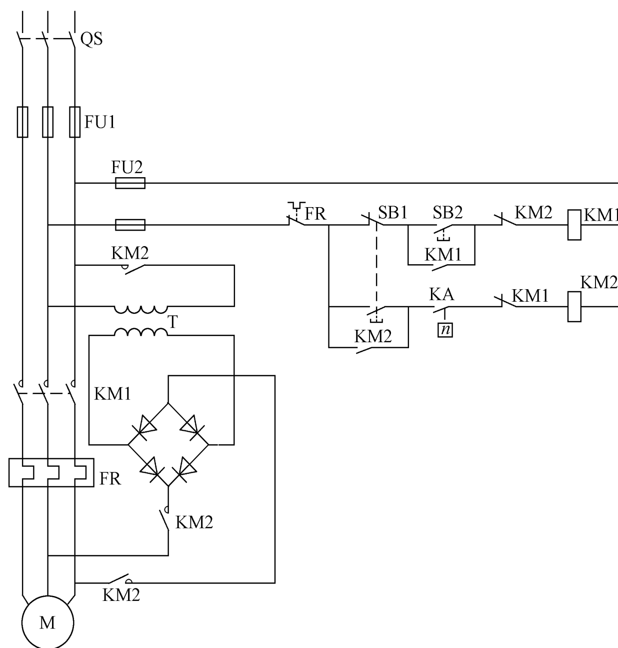


图 2-34　电动机按速度控制单向运行能耗制动控制电路

按停止按钮 SB1，接触器 KM1 线圈失电释放，接触器主触头和辅助常开触头复位，切除电动机三相交流电源。此时，由于电动机转子的惯性作用，电动机速度仍然很高，速度继电器 KA 的常开触头仍闭合，接触器 KM2 线圈得电，主触头闭合，接通整流器的输入、输出电路，将整流后的直流电源接至电动机定子的两相绕组，电动机产生制动力矩。电动机转子的转速在制动力矩的作用下迅速下降，待转子转速接近零时，速度继电器 KA 常开触头断开复位，接触器 KM2 线圈失电，能耗制动过程结束。

实例 19　电动机按速度控制可逆运行能耗制动控制电路

图 2-35 为按速度原则控制的可逆运行能耗制动控制电路。该电路与图 2-33 的电路基本相同。在这里同样用速度继电器 KA 取代了时间继电器 KT。由于速度继电器的触头具有方向性，所以，电动机的正向能耗制动和反向能耗制动分别由速度继电器的两对常开触头 KA-Z、KA-F 来控制，代替原电路中的时间继电器 KT 的一对延时断开常闭触头。常开触头 KA-Z 和 KA-F 在电路中是并联的。在该控制电路中，当电动机处于正向能耗制动时，接触器 KM3 线圈电路由于自身常开辅助触头和 KA-Z 都闭合而得电。当电动机正向惯性速度接近零时，KA-Z 常开触头复位，KM3 线圈失电，切断直流电源，电动机正向能耗制动结束。电动机处于反向能耗制动状态时，KM3 线圈依靠自身常开辅助触头和 KA-F 的共同闭合自锁。当反向惯性速度接近零时，KA-F 常开触头复位，KM3 线圈断电而切除直流电源，电动机反向能耗制动结束。

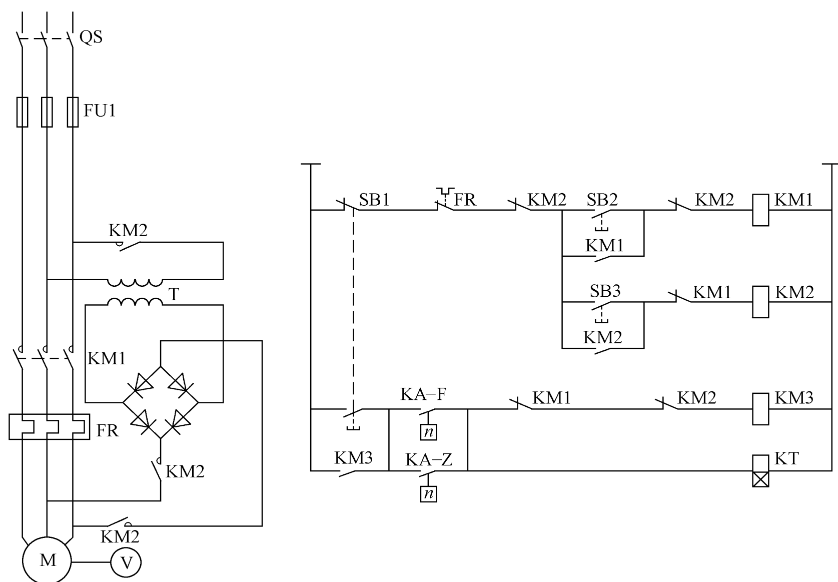


图 2-35　电动机按速度控制可逆运行能耗制动控制电路

实例 20　电动机带有能耗制动反转控制电路

电动机带有能耗制动的反转控制电路如图 2-36 所示。在图 2-36 所示电路中，电动机的反转控制是利用改变电枢电压极性来达到电动机的反转。电路中包括了两级电阻。电阻 *R*1、

$R2$同时作为起动与调速限流电阻。电路正、反转控制由主令开关控制，当主令开关 SA 的手柄向左（正转），接通接触器 KML，电枢电压为左正右负。当手柄向右（反转）接通接触器 KMR，电枢电压为左负右正，这样就改变了电枢电压的极性，而并励绕组的电流方向没有变，所以实现了反转控制；其在停车时采用能耗制动，且利用电压继电器 KAL 或 KAR 控制，它们的线圈在工作时与电动机电枢并联，它反映电动机电枢电压，即转速的变化，所以说它是用转速原则控制的。电路的动作过程如下：

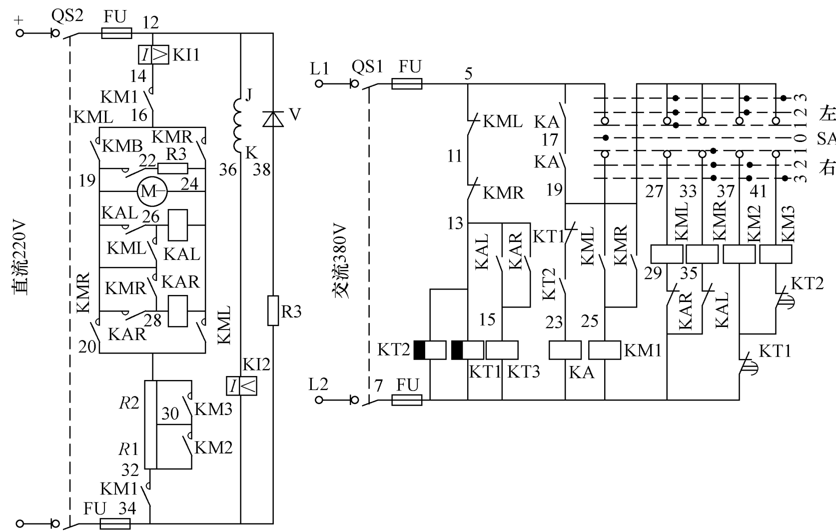


图 2-36　电动机带有能耗制动反转控制电路

设主令开关手柄在向左第 3 挡，这时，主接触器 KM1、KM2、KM3 吸合，正转接触器 KML 吸合，正向制动继电器 KAL 线圈通电吸合并自锁，为制动接触器 KMB 通电做好准备，同时常闭触头断开；与反转接触器 KMR 联锁。

当停车制动时，将主令开关 SA 手柄由正转位置扳到零位，这时 KM1 线圈断电，断开电动机的主电源，但电动机因惯性的动能转变为电能并消耗在制动电阻 $R3$ 上，故转速急剧下降。随着制过程的进行，其电枢电动势也随着转速的下降到一定程度时，就使 KAL 释放，制动结束，电路恢复到原始状态，以准备重新起动。

如电动机原处于反转状态，其停车的制动过程与上述过程相似，不同的只是利用继电器 KMR 来控制。当用主令开关手柄从正转扳到反转时，电路本身能保证先进行能耗制动，后改变转向。这时继电器 KAL 在制动结束以前一直处于是吸合状态，从而断开了反转接触器 KMR 线圈的回路，即使主令开关处于反转第 3 挡，也不能接通反转接触器。当主令开关从反转瞬时扳到正转时，情况类似。图 2-36 所示电路图中的元器件参数见表 2-3。

表 2-3　元器件参数

代号	名称	型号	规格	数量	备注
QS1	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
QS2	低压断路器	DZ47	3A/2P	1	
FU1	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体 3A	2	

（续）

代号	名称	型号	规格	数量	备注
FU2	瓷插式熔断器	RC1-5A	2A	2	
KMB ~ KM3	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	7	KA KMB KML KMR KM1、2、3
KAL、KAR	直流接触器	CJX2-D0910	DC220V	2	
SA	万转开关	LW516/H1196		1	
M	并励直流电动机		220V 1.1A 185W 1600r/min	1	
*R*1、*R*2	起动电阻		90Ω1.3A	2	
*R*3	制动电阻		450Ω	1	
R	电阻		10kΩ/20W	1	
V	二极管	2CZ	1000V5A	1	
KI1	过电流继电器	JL14-11Z	2.5A	1	
KI2	欠电流继电器	DL-13	0.08-0.16A	1	
KT1、KT2	断电延时时间继电器	JS7-3A	AC380V	2	

实例21 电动机短接制动控制电路

1. 电动机短接制动控制电路（一）

短接制动是在电动机定子绕组电源断开的同时，将定子绕组自行短接，这时电动机转子因惯性仍在旋转。由于转子存在剩磁，形成了转子旋转磁场，此磁场切割定子绕组，在定子绕组中产生感应电动势。因定子绕组此时已被KM2（或KM1常闭触头）短接，所以在定子绕组中产生感应电流，该电流与旋转磁场相互作用，产生制动转矩，迫使电动机停转。电动机短接制动控制电路（一）如图2-37所示。

在制动过程中，由于定子绕组短接，所以绕组端电压为零。在短接的瞬间产生瞬间短路电流。短路电流的大小取决于剩磁电动势和短路回路的阻抗。虽然瞬间短路电流很大，但电流呈感性，对转子剩磁起去磁作用，使剩磁电动势迅速下降，所以短路电流持续时间很短。另外，瞬时短路电流的有功分量很小，故制动作用不太强。所以，这种制动方法只限于小容量的高速异步电动机以及制动要求不高的场所。

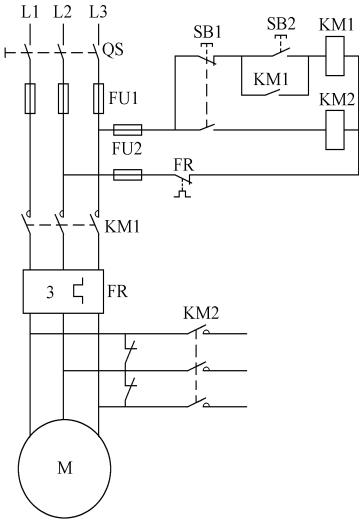


图2-37 电动机短接制动控制电路（一）

2. 电动机短接制动控制电路（二）

电动机短接制动控制电路（二）如图 2-38 所示。该控制电路适用于正常运行为三角形接法的电动机。在电动机三相定子绕组中，每相串接一个整流二极管。电动机正常运行时，接触器 KM1、KM2 都获电吸合，KM2 触头短接二极管。当需要停车时，按停止按钮 SB1，KM1 和 KM2 均断电释放，二极管串入绕组工作。电动机转子有剩磁，且在惯性作用下继续旋转，转子剩磁磁场切割定子绕组，产生定向的感应电流。定子感应电流与转子的旋转磁场相互作用，产生制动力矩，迫使电动机停转。

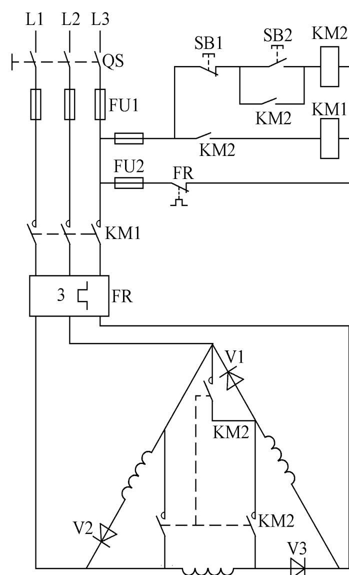


图 2-38　电动机短接制动控制电路（二）

短接制动的优点是简单易行，无需特殊的控制设备。制动时，定子的感应电流比电动机空载起动时的电流要小。

短接制动的缺点是：制动作用不强，定位不准确，且仅适用于小容量的高速电动机。

实例 22　电动机反接制动控制电路

电动机反接制动的控制电路如图 2-39 所示。该控制电路的动作原理如下：分别合上直流 220V 电源及交流 380 电源，励磁绕组获电开始励磁。同时时间继电器 KT1 和 KT2 线圈得电吸合，它们的延时闭合常闭触头瞬时断开，接触器 KM4 和 KM5 线圈处于断电状态。时间继电器 KT2 的延时时间大于 KT1 的延时时间，此时电路处于准备工作状态。按下正向按钮 SB2，接触器 KML 线圈得电吸合，其主触头闭合，直流电动机电枢回路串入电阻 *R*1 和 *R*2 而减压起动。它的常闭触头（1-19）断开，时间继电器 KT1 和 KT2 断电，经过一定的延时时间后，KT1 延时闭合的常闭触头先闭合，然后 KT2 延时闭合的常闭触头闭合，接触器 KM4 和 KM5 先后得电吸合，先后切除电阻 *R*1 和 *R*2，直流电动机进入正常运行。

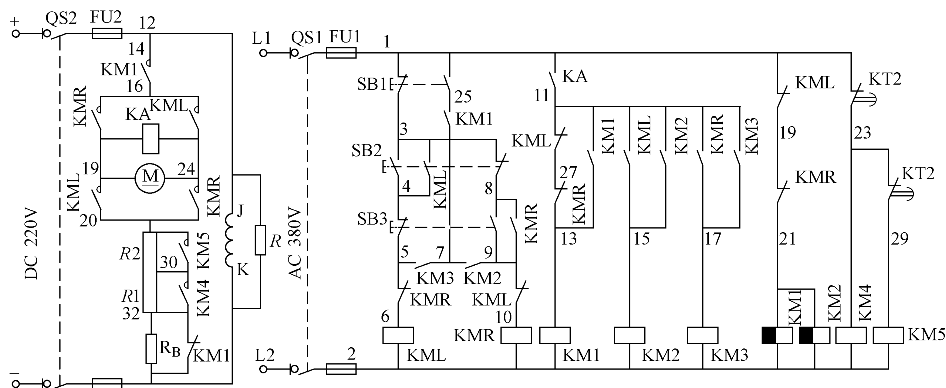


图 2-39　电动机反接制动的控制电路

由于起动时电动机的反电动势等于零，电压继电器KA不会动作，所以接触器KM1、KM2（或KM3）都不会动作；当电动机建立反电动势后，电压继电器KA吸合，其常开触头闭合，接触器KM2得电吸合并自锁，其常开触头（7-9）的闭合为反接制动做好准备。图中R_B为反接制动电阻，R为电动机停车时励磁绕组的放电电阻。

若要电动机停转，可按下停止按钮SB1，则正向接触器KML线圈断电释放。此时，电动机仍作惯性运行，反电动势仍较强，电压继电器KA不会释放，因KML释放后，KM1线圈得电吸合并自锁。同时KM1触头（25-7）闭合，使接触器KMR瞬时得电吸合，电枢通以反向电流，产生制动转矩。同时接在R_B上的常闭触头断开，在串入反接电阻R_B的情况下进行反接制动而迅速停转。待转速接近于零时，电枢的反电动势也接近于零，继电器KA断电释放，断开接触器KM1的线圈回路，使KM1的常闭触头又恢复闭合短路R_B，同时，反接制动接触器KM2、反向接触器KMR线圈也断电释放，准备下次起动。

KT1及KT2的断电延时调节分别为8s、15s。确认接线无误后，可分别通入DC220及AC380V电源，分别按动按钮SB2、SB3、SB1，控制电路应能正常工作，若工作不正常，则应分析并排除故障。图2-39所示电路中的元器件参数见表2-4。

表2-4 元器件参数

代号	名称	型号	规格	数量	备注
QS1	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
QS2	低压断路器	DZ47	3A/2P	1	
FU1	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体3A	2	
FU2	瓷插式熔断器	RC1-5A	2A	2	
KM1 ~ KMR	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	7	KM1、KM2、KM3、KM4、KM5、KML、KMR
KA	直流接触器	CJX2-D0910	DC220V	1	
KT1、KT2	断电延时时间继电器	JS7-3A	AC380V	2	
SB1、SB2、SB3	按钮	LAY3-11		3	SB2 SB3绿色 SB1红色
M	并励直流电动机		220V 1.1A 185W 1600r/min	1	
R_B	起动电阻	BX7D-1/3	180Ω 1.3A	1	
R	调速电阻	BX7D/1/6	1800Ω 0.41A	1	

实例23 电动机单向减压起动及反接制动控制电路

电动机单向减压起动及反接制动控制电路如图2-40所示。图中，KM1为正转运行接触器，KM2为反接制动接触器，用点划线和电动机相连的速度继电器KS与电动机同轴，电路动作过程如下：

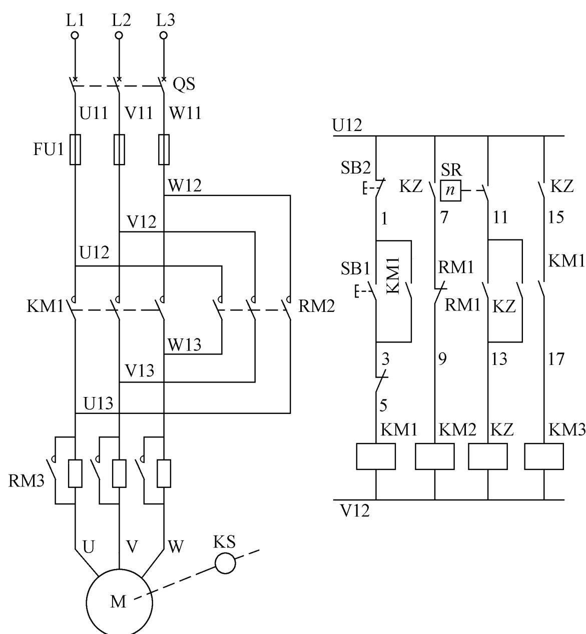
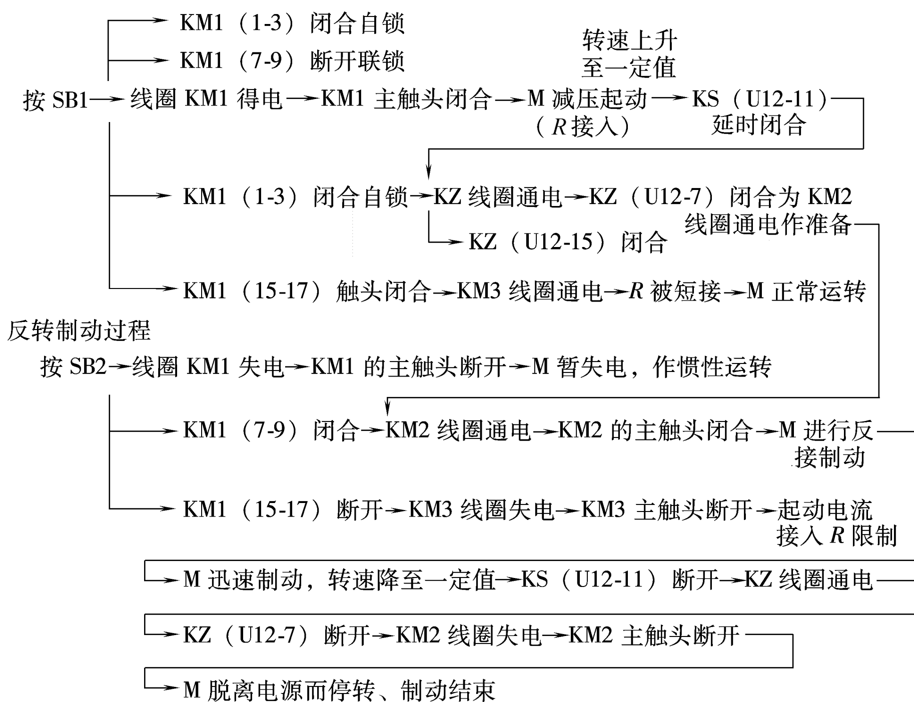


图 2-40　电动机单向减压起动及反接制动控制电路

单向减压起动的动作过程：



反接制动的优点是设备简单，调整方便，制动迅速，价格低。缺点是制动冲击大，制动能量损耗大，不宜频繁制动，且制动准确度不高，它适用于要求制动迅速、系统惯性较大、

制动不频繁的场合。图2-40所示电路中的主要元器件参数见表2-5。

表2-5 元器件参数

代号	名称	型号	规格	数量	备注
QS	负荷开关	DZ47	5A/3P	1	
FU	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体3A	3	
KM1、KM2、KM3、KZ	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	4	
SB1、SB2	按钮	LAY3-11		2	SB1绿 SB2红
M	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	1	
KS	速度继电器	JY-1		1	
R	电阻		90Ω 1.3A	3	

实例24 电动机电容制动控制电路

电容制动是将工作着的电动机在切断电源后，立即在定子绕组的端接入电容器而实现制动的一种方法。为解决短接制动熔断器熔体常熔断问题，可以在KM常闭触头与相线之间串一阻抗元件来限制瞬间短路电流，图2-41所示电路是一种比较实用的电容制动电路。在选择电容参数时，要注意电容的耐压值、电容的容抗或容量，电容的耐压要考虑电源电压的最大值，电容的容抗要考虑KM主触头电弧短路时，相间电流要小于电动机的起动电流。

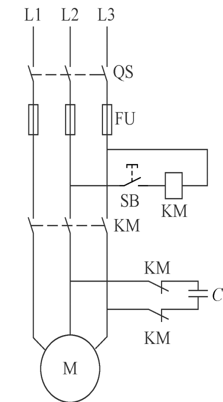


图2-41 电动机电容制动控制电路

三组电容制动控制电路如图2-42所示。三组电容器可以接成星形或三角形，与电动机定子出线端形成闭合回路。当运行的电动机断开电源时，转子内的剩磁切割定子绕组产生感应电动势，并向电容充电，其充电电流在定子绕组中形成励磁电流，建立一个磁场，这个磁场与转子剩磁相互作用，产生一个与旋转方向相反的制动力矩，使电动机迅速停转，完成制动。

起动过程，闭合电源开关QS，按下起动按钮SB2，接触器KM1获电吸合并经KM1-1常开触头自锁，KM1-2常闭触头断开，闭锁了KM2；接触器KM1的主触头闭合，电动机获电运转；KM1-3闭合使时间继电器KT获电吸合，KT的延时断开常开触头瞬间闭合，为KM2获电作准备。需要停车时，按下停止按钮SB1使接触器KM1断电释放，KM1主触头、常开触头KM1-1和KM1-3、常闭触头KM1-2均恢复至原始状态。其中KM1-2联锁触头恢复闭合时，接触器KM2获电吸合，KM2主触头闭合，将三相制动电容器及电阻*R*1、*R*2接入定子绕组，电动机被制动，直至停转；同时，KM1-3的断开使时间继电器KT失电释放，其延时断开常开触头延时至电动机停止后，自动断开，切断接触器KM2线圈回路，使接触器KM2失电释放。至此，全部电器均恢复至原始状态。

控制电路中的电阻*R*1是调节电阻，用以调节制动力矩的大小，电阻*R*2为放电电阻。对于380V、50Hz的笼型异步电动机，根据经验，每千瓦每相大约需150μF的制动电容，电

容的工作电压应不小于电动机的额定电压。

电容制动对高速、低速运转的电动机均能迅速制动，能量损耗小，设备简单，一般用于 10kW 及以下的小容量电动机，并且可用于制动较频繁的场所。

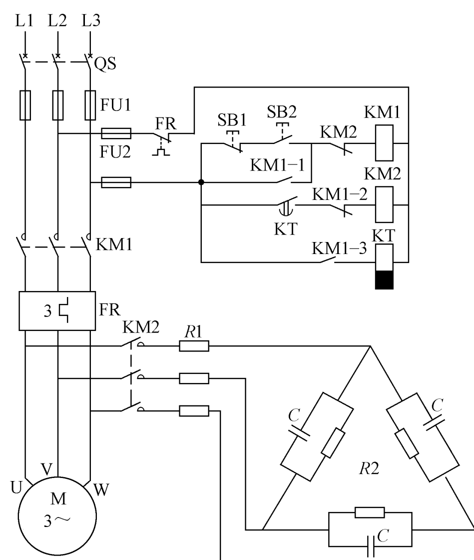


图 2-42　电动机三组电容制动控制电路

第 3 章　电动机减压起动控制电路

实例 1　电动机定子串电阻减压起动手动控制电路

1. 电动机定子串电阻减压起动手动控制电路（一）

笼型异步电动机采用全压直接起动时，控制电路简单、维修工作量较少。但是，并不是所有异步电动机在任何情况下都可以采用全压起动。这是因为异步电动机的全压起动电流一般可达额定电流的 4 ~7 倍。过大的起动电流会降低电动机寿命，致使配电变压器二次电压大幅度下降，减少电动机本身的起动转矩，甚至使电动机根本无法起动，还要影响同一供电网中其他用电设备的正常工作。判断一台电动机能否全压起动的一般规定是，电动机容量在 10kW 及以下者，可直接起动。10kW 以上的异步电动机是否允许直接起动，要根据电动机容量和配电变压器容量的比值来确定。对于给定容量的电动机，一般用下面的经验公式来计算。

$$I_q/I_N \leqslant 3/4 + \text{电源变压器容量(kVA)}/[4 \times \text{电动机容量(kVA)}] \quad (3\text{-}1)$$

式中　I_q——电动机全电压起动电流（A）；

I_N——电动机额定电流（A）。

若计算结果满足上述经验公式，一般可以全压起动，否则不予全压起动，应考虑采用减压起动。有时，为了限制和减少起动转矩对机械设备的冲击作用，允许全压起动的电动机，也多采用减压起动方式。

在电动机起动过程中，常在电动机的三相定子电路中串接电阻（电抗）来降低定子绕组上的电压，使电动机在降低了定子绕组电压下起动，以达到限制起动电流的目的。一旦电动机转速接近额定值时，切除串联电阻（电抗），使电动机进入全电压正常运行。这种电路通常采用按时间原则切除起动时串入的电阻（电抗）以完成起动过程。在具体电路中可采用人工手动控制或时间继电器自动控制来加以实现。

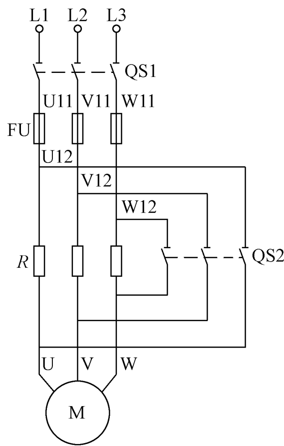


图 3-1　电动机定子串电阻减压起动手动控制电路（一）

电动机定子串电阻减压起动手动控制电路（一）如图 3-1 所示，合上电源开关 QS1，由于定子绕组中串联电阻起减压作用，所以这时加到电动机定子绕组上的电压不是额定电压，这样就限制了起动电流。随着电动机的起动，转速升高。当电动机转速接近额定转速时，立即合上 QS2，将电阻 R 短接，定子绕组上的电压便上升到额定工作电压（全压）运行，使电动机处于正常运转状态。图 3-1 所示电路中的元器件参数见表 3-1。

表 3-1　元器件参数

代　　号	名　　称	型　　号	规　　格	数　　量	备　　注
QS1	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体 3A	3	
QS2	组合开关	HZ10-10/3	10A	1	
R	电阻		90Ω　1.3A	3	
M	三相笼型异步电动机		380V　0.45A　120W	1	

2. 电动机定子串电阻减压起动手动控制电路（二）

电动机串电阻减压起动手动控制电路（二）如图 3-2 所示，在图 3-2 中，R_{ST}为起动电阻，一般采用 ZX1、ZX2 系列铸铁电阻，铸铁电阻功率大，能允许通过较大的电流。电动机三相定子绕组所串的电阻值应相等，起动电阻 R_{ST}的阻值可用下列近似公式确定：

$$R_{ST} = 190(I_{st} - I'_{st})/I_{st} \times I'_{st} \tag{3-2}$$

式中　I_{st}——串联电阻前的起动电流（A）一般取：$I_{st} = (4 \sim 7)I_n$；

I'_{st}——串联电阻后的起动电流（即允许的起动电流值，一般取：$I'_{st} = (2 \sim 3)I_n$）。

起动电阻的功率：

$$P_r = (1/3 \sim 1/4)I'^2_{st}R_{ST} \tag{3-3}$$

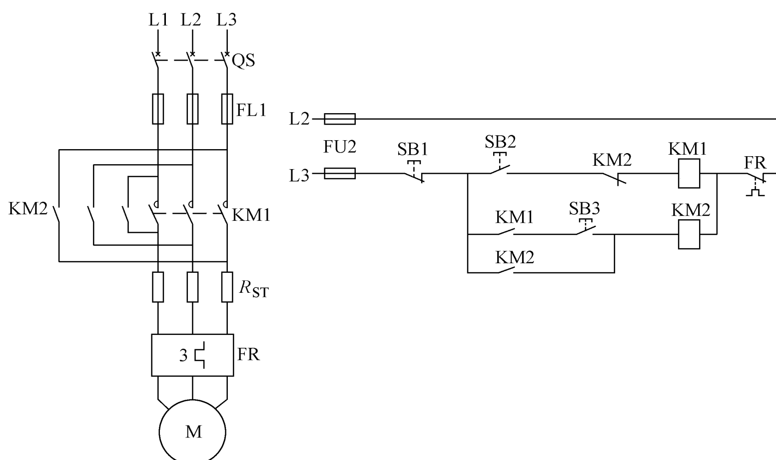


图 3-2　电动机定子串电阻减压起动手动控制电路（二）

图 3-2 所示电路在减压起动时，按起动按钮 SB2→接触器 KM1 获电→KM1 的主触头闭合，电动机串电阻 R_{st}减压起动→KM1 自锁触头闭合自锁。

当电动机转速不再上升时，按运转按钮 SB3→接触器 KM2 获电吸合→KM2 主触头闭合，电动机全压运行（此时，电阻 R_{ST}被短接）→KM2 的自锁触头闭合自锁→KM2 常闭触头断开，接触器 KM1 断电释放。

3. 电动机定子串电阻减压起动手动控制电路（三）

电动机串电阻减压起动手动控制电路（三）如图 3-3 所示。按下起动按扭 SB2 且不松开→接触器 KM1 获电吸合→电动机串电阻 R_{ST}减压起动。当电流表指针稳定不变或电动机转速不再上升时，再按下运转按钮 SB3（此时 SB2 不能松开）→接触器 KM1 断电释放→接触器 KM2 获电吸合→自锁触头 KM2 闭合自锁，主触头闭合→电动机全压运转。此时，将 SB2 与 SB3 均放

松，由于有自锁触头 KM2 自锁，故接触器 KM2 仍保持吸合，电动机仍然获全压运行。

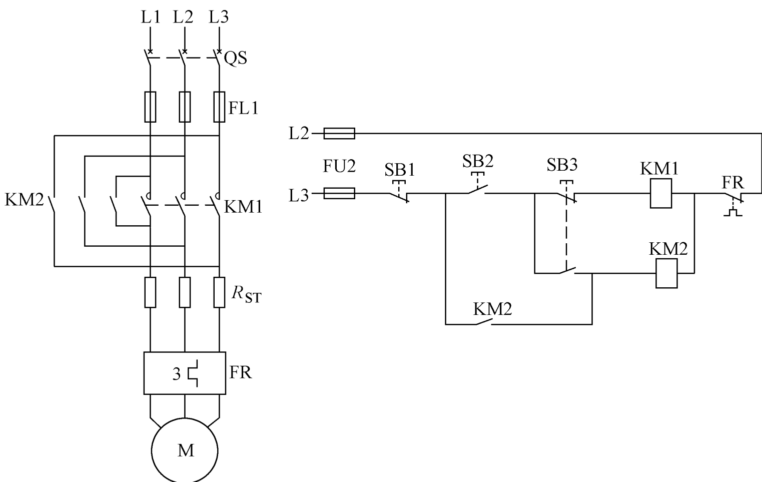


图 3-3 电动机定子串电阻减压起动手动控制电路（三）

实例 2 电动机定子串电阻减压起动自动控制电路

1. 三相异步电动机定子串电阻减压起动自动控制电路（一）

三相异步电动机定子串电阻减压起动自动控制电路（一）如图 3-4 所示。合上电源开关 QS，按下起动按钮 SB1，接触器 KM1 与时间继电器 KT 的线圈同时通电，KM1 主触头闭合，由于 KM2 线圈的回路中串有时间继电器 KT 延时闭合的常开触头而不能吸合，这时电动机定子绕组中串有电阻 R，进行减压起动，电动机的转速逐步升高，当时间继电器 KT 达到预先整定的时间后，其延时闭合的常开触头闭合，KM2 吸合，主触头闭合，将起动电阻 R 短接，电动机便处在额定电压下全压运转，通常 KT 的延时时间为 4 ~ 8s。图 3-4 所示电路图中的元器件参数见表 3-2。

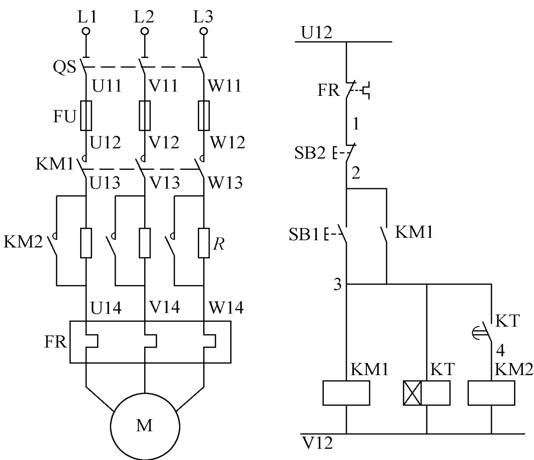


图 3-4 电动机定子串电阻减压起动自动控制电路（一）

表 3-2 元器件参数

代 号	名 称	型 号	规 格	数 量	备 注
QS	低压断路器	DZ47	5A/3P	1	
FU	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体 3A	3	
KM1, KM2	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	2	
SB1, SB2	实验按钮	LAY3-11		2	SB2 红 SB1 绿
KT	通电延时继电器	JS7-1A	AC380	1	
FR	热继电器	JR36	整定 0.68A	1	
M	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	1	
R	电阻		90Ω 1.3A	3	

2. 电动机定子串电阻减压起动自动控制电路（二）

电动机定子串电阻减压起动控制电路（二）如图 3-5 所示，图 a 所示的工作过程如下：

按 SB2 按钮，KM1 线圈得电，电动机串电阻起动，同时 KT 线圈得电，时间继电器开始延时，在达到设定的延时时间时，时间继电器延时触头闭合，KM2 线圈得电，短接电阻，电动机正常运行，按 SB1 按钮，KM2 线圈断电，KM2 主触头断开，电动机停止运行。

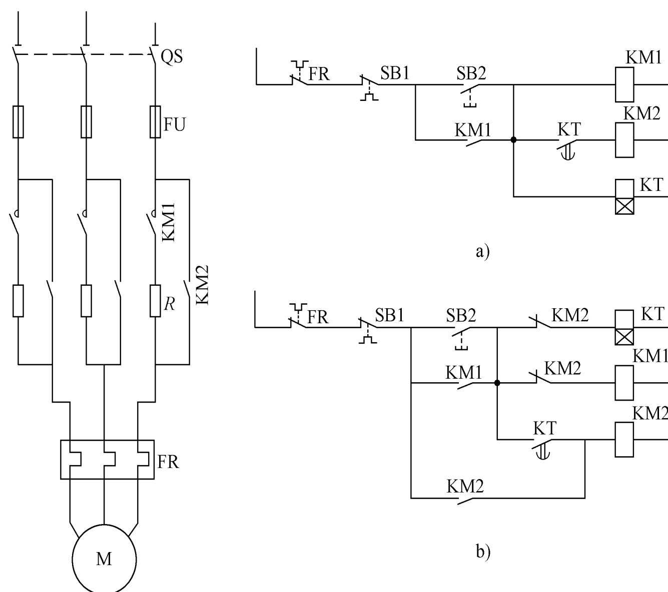


图 3-5　电动机定子串电阻减压起动自动控制电路（二）

在图 a 电路中，在电动机起动后，KM1 与 KT 一直得电动作，这样既增加电能消耗，也缩短了 KM1、KT 的使用寿命。图 b 电路可解决这一问题，在接触器 KM2 线圈得电，KM2 动作后，KM2 的常闭触头将 KM1 及 KT 线圈断电，KM2 自锁。这样，在电动机起动后，只要 KM2 线圈得电，在电动机正常运行时，可减少 KM1、KT 的电能消耗，也延长了 KM1、KT 的使用寿命。

电动机串电阻起动的优点是控制电路结构简单、成本低、动作可靠、提高了功率因数，有利于保证电网质量。但是，由于定子串电阻减压起动，起动电流随定子电压成正比下降，而起动转矩则按电压下降比例的二次方下降。同时，每次起动都要消耗大量的电能。因此，三相笼型异步电动机采用电阻减压的起动方法，仅适用于要求起动平稳的中小容量电动机以及起动不频繁的场合，大容量电动机多采用串电抗减压起动。

3. 电动机定子串电阻减压起动自动控制电路（三）

电动机串电阻减压起动自动控制电路（三）如图 3-6 所示。图 3-6 所示电路的主电路与图 3-2 所示电路中的主电路完全相同。按起动按钮 SB2→接触器 KM1 线圈获电→KM1 自锁触头闭合自锁→KM1 主触头闭合，电动机减压起动→串接在时间继电器 KT 线圈回路中的常开触头 KM1 闭合，使时间继电器 KT 线圈获电，待达到时间继电器预先整定的时间后，KT

常开触头闭合→KM2线圈获电→KM2自锁触头闭合自锁→KM2主触头闭合→电动机全压运行→在接触器KM1线圈回路中的KM2常闭触头断开，切断KM1线圈的供电回路，KM1断电释放。在时间继电器KT线圈回路中的常开触头KM1断开，时间继电器KT也断电释放，所以，在电动机全压运行后，只有接触器KM2一个线圈得电工作。

图3-6　电动机定子串电阻减压起动自动控制电路（三）

实例3　电动机手动控制Y/△减压起动控制电路

1. 电动机手动控制Y/△减压起动控制电路（一）

电动机Y/△减压起动电路的设计思想仍是按时间原则控制起动过程，所不同的是，在起动时将电动机定子绕组接成星形，每相绕组承受的电压为电源的相电压（220V），减小了起动电流对电网的影响。而在其起动后期则按预先整定的时间将电动机定子绕组换接成三角形，每相绕组承受的电压为电源的线电压（380V），电动机进入正常运行。凡是正常运行时定子绕组接成三角形的笼型异步电动机，均可采用这种电路。

三相笼型异步电动机采用Y/△减压起动的优点：在电动机定子绕组为星形联结时，起动电压为直接采用三角形联结时的1/3，起动电流为三角形联结时的1/3，因而起动电流特性好，电路较简单，投资少。其缺点是起动转矩也相应下降为三角形联结的1/3，转矩特性差。所以该电路适用于轻载或空载起动的场合。

电动机手动控制Y/△减压起动控制电路（一）如图3-7所示，起动时，按下起动按钮SB2，交流接触器KM1和KM同时获电吸合，电动机定子绕组接成星形减压起动。待起动过程结束后，按下运转按钮SB3，使交流接触器KM1首先断电释放，然后KM2获电吸合，与已获电吸合的KM共同作用，电动机定子绕组接成三角形，全压运行。

图3-7　电动机手动控制Y/△减压起动控制电路（一）

此电路中两个常闭触头（KM1 与 KM2）互相串接在对方的线圈回路内，组成接触器联锁，保证了 KM1 与 KM2 两个接触器不能同时获电吸合。

图 3-7 主电路部分接线较简单，需注意的是电动机定子绕组的接线，Y联结时，电动机的引出的端子 U1（D1）、V1（D2）、W1（D3）接电源 L1、L2、L3；U2（D4）、V2（D5）、W2（D6）三个端子短接在一起；△联结时：U1（D1）与 W2（D6）短接后接 L1；V1（D2）、U2（D4）短接后接 L2；W1（D3）、V2（D5）短接后接 L3。因为主电路的电流较大，所以要特别注意各接线点，保证接触良好。

2. 电动机手动控制Y/△减压起动控制电路（二）

电动机手动控制Y/△减压起动控制电路（二）如图 3-8 所示。起动时，按下起动按钮 SB2，交流接触器 KM1 和 KM“先、后”获电吸合，电动机接成Y形减压起动。待起动过程结束后，按下运转按钮 SB3，交流接触器 KM1“先断电”释放，KM2“后获电”吸合。此时 KM 仍保持吸合状态，电动机接成△形全压运行。

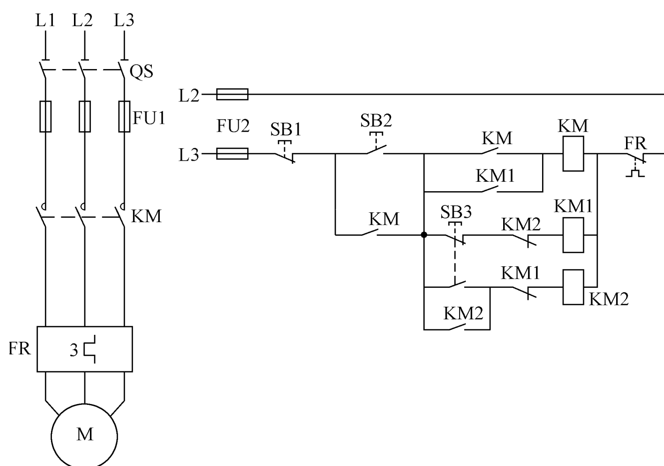


图 3-8　电动机手动控制Y/△减压起动控制电路（二）

这种电路的另一个特点是，起动时，闭合电动机定子三相绕组中性点的交流接触器 KM1（俗称封星接触器）先获电吸合，然后接通电源的交流接触器 KM 才吸合；这样，KM1 的主触头是在无负载的情况下闭合的。所以，KM1 的选择可比 KM 和 KM2 小一个等级，以节约成本。而图 3-7 所示电路无此功能，在实际工作中应优先选用图 3-8 控制电路。

3. 电动机手动控制Y/△减压起动控制电路（三）

电动机手动控制Y/△减压起动控制电路（三）如图 3-9 所示。按下起动按钮 SB1 时，KM1 得电，其常开触头闭合，KM3 得电，常开触头闭合，电动机定子绕组接成星形，电动机减压起动。当电动机转速达到（接近）额定转速时，按下 SB3 按钮，KM3 失电释放，KM2 得电吸合，电动机定子绕组接线由Y联结转换成△联结，电动机在定子绕组接成△联结下正常运行。图 3-9 所示电路适用于 13kW ~ 55kW 的△联结的电动机。

4. 手动控制电动机Y/△减压起动控制电路（四）

电动机手动控制Y/△减压起动控制电路（四）如图 3-10 所示。电路工作过程：合上电源开关 QS 接通三相电源，按下起动按钮 SB2，首先交流接触器 KM3 线圈通电吸合，KM3 的

三对主触头将电动机定子绕组尾端联在一起。KM3 的辅助常开触头接通使交流接触器 KM1 线圈通电吸合，KM1 三对主常开触头闭合接通电动机定子三相绕组的首端，电动机在Y联结下低压起动。

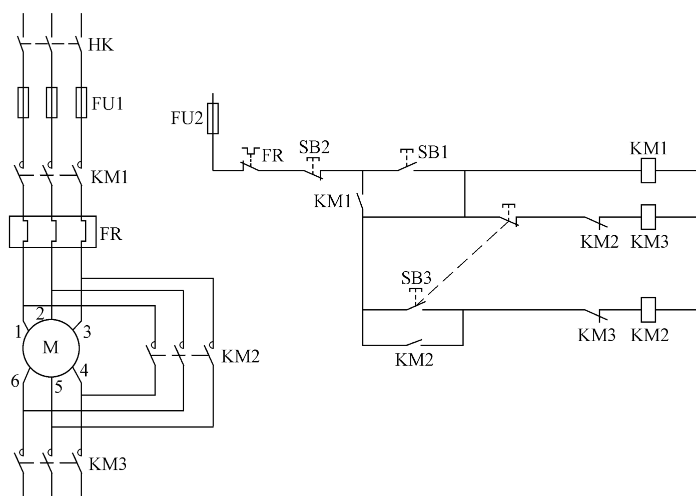


图 3-9　电动机手动控制Y/△减压起动电路（三）

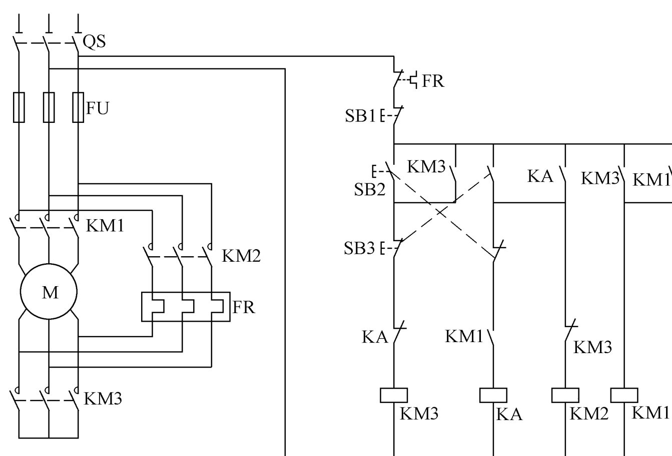


图 3-10　电动机手动控制Y/△减压起动控制电路（四）

随着电动机转速的升高，待接近额定转速时（或观察电流表接近额定电流时），按下运行按钮 SB3，此时 BS3 的常闭触头，断开 KM3 线圈的回路，KM3 失电释放，常开主触头释放将电动机三相绕组尾端连接打开，SB3 的常开触头接通中间继电器 KA 线圈通电吸合，KA 的常闭触头断开 KM3 电路（互锁），KM3 的常开触头吸合，通过 SB2 的常闭触头和 KM1 常开互锁触头实现自锁，同时通过 KM3 常闭触头（互锁）使接触器 KM2 线圈通电，KM2 主触头闭合将电动机定子三相绕组连接成△形，使电动机定子绕组在△联结下运行。完成了Y/△减压起动的任务。

热继电器 FR 作为电动机的过载保护，热继电器 FR 的热元件接在三角形的里面，流过热继电器的电流是相电流，定值定子绕组整定时应按电动机额定电流计算。采用 KM2 及

KM3 常闭触头构成互锁环节，保证了电动机Y-△联结不可能同时出现，避免发生将电源短路事故。

实例 4　电动机Y/△减压起动自动控制电路

1. 电动机Y/△减压起动自动控制电路（一）

电动机Y/△减压起动自动控制电路（一）如图 3-11 所示。按下起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈得电，电动机 M 接入电源。同时，时间继电器 KT 及接触器 KM2 线圈得电。

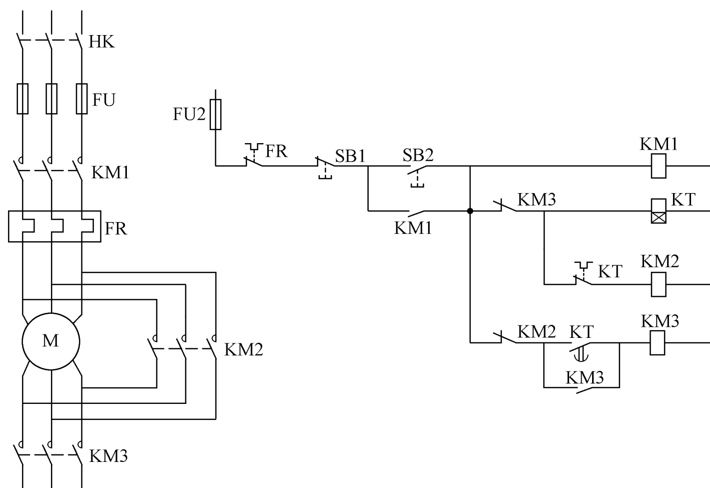


图 3-11　电动机Y/△减压起动自动控制电路（一）

接触器 KM2 线圈得电，其常开主触头闭合，电动机 M 定子绕组在星形联结下运行。KM2 的常闭辅助触头断开，保证了接触器 KM3 不得电。

时间继电器 KT 的常开触头延时闭合；常闭触头延时打开，切断 KM2 线圈电源，其主触头断开而常闭辅助触头闭合。接触器 KM3 线圈得电，其主触头闭合，使电动机定子绕组接线由星形起动切换为三角形运行。按 SB1 按钮，控制电路断电，各接触器释放，电动机断电停止运行。

电路在 KM2 与 KM3 之间设有辅助触头联锁，防止它们同时动作造成短路；此外，电路转入△形接线运行后，KM3 的常闭触头分断，切除时间继电器 KT、接触器 KM2，避免 KT、KM2 线圈长时间运行而空耗电能，并延长其使用寿命。

2. 电动机Y/△减压起动自动控制电路（二）

电动机Y/△减压起动自动控制电路（二）如图 3-12 所示。电路特点：

①本电路适用于电压 380V、电动机功率不超过 75kW、定子绕组为三角形联结的交流电动机。电路具有短路、过载、失电压保护。电动机定子绕组的Y/△形接线转换由时间继电器控制自动转换，调整继电器的时间，可以改变电动机定子绕组Y/△形接线的转换时间。

②可以两地控制，具有外部控制端子，在图 3-12 所示电路中，2SB1、2SB2 为外部控制按钮，可以控制电动机的起动及停机。如果不需要外部按钮控制，可直接在接线端子处将 2SB1 按钮的两端短接。

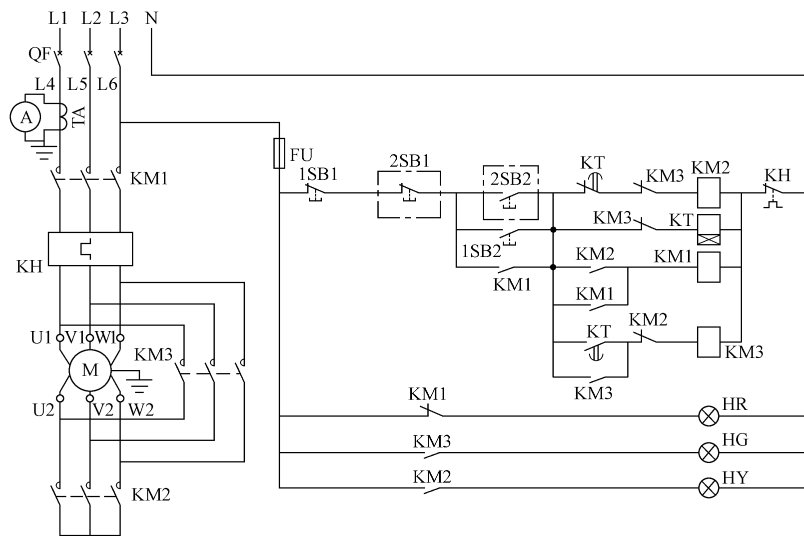


图3-12 电动机Y/△减压起动自动控制电路（二）

图3-12所示电路的主要元器件见表3-3。

表3-3 主要元器件

名　称	符　号	规格型号	数量 15kW	数量 22kW	数量 45kW	数量 75kW
断路器	QF	DZ20Y-100/3300 DZ20Y-200/3300	1 —	1 —	1 —	— 1
接触器	KM2 KM1、KM3	CJ20-25 线圈电压220V CJ20-40 线圈电压220V CJ20-63 线圈电压220V CJ20-100 线圈电压220V CJ20-160 线圈电压220V	1 2 — — —	— 1 2 — —	— — 1 2 —	— — — 1 2
热继电器	KH	JR16-60/3D JR16-150/3D	1 —	1 —	— 1	— 1
时间继电器	KT	ST3PA-B 线圈电压220V(配基座)	1	1	1	1
熔断器	FU	RT14(含熔体2A)	1	1	1	1
控制按钮	1SB1、1SB2	LAY3-11 红色 LAY3-11 绿色	1 1	1 1	1 1	1 1
指示灯	HR、HG、HY	AD11-25 红色220V AD11-25 绿色220V AD11-25 黄色220V	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1
电流表	A	6L2(电流范围由电动机电流决定)	1	1	1	1
电流互感器	TA	LMZJ-0.5(变流比由电流表决定)	1	1	1	1
接线端子	XT	JH2-2.5	3	3	3	3

3. 电动机Y/△减压起动自动控制电路（三）

用三个接触器的电动机Y/△减压起动自动控制电路（三）如图 3-13 所示。按下起动按钮 SB1，KM1、KM3、SJ 获电动作，电动机定子绕组接成星形联结起动。时间继电器达到设定延时时间后，延时闭合的常开触头闭合，延时断开的常闭触头断开，KM3 失电释放，这时 KM3 常闭辅助触头闭合，使 KM2 得电动作。电动机定子绕组由星形联结转换成三角形联结，起动过程结束。这种控制电路适用于 13 ~ 55kW 的定子绕组三角形联结的电动机。

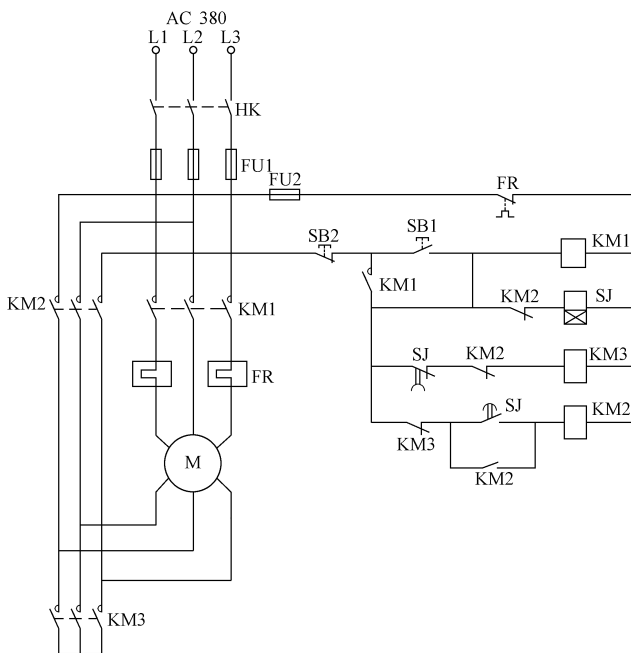


图 3-13　电动机Y/△减压起动自动控制电路（三）

4. 电动机Y/△减压起动自动控制电路（四）

电动机Y/△减压起动自动控制电路（四）如图 3-14 所示。当按下按钮 SB1 时，接触器 KM3、KM1 吸合，这时电动机定子绕组为Y联结起动。当时间继电器经过一定延时电动机起动完毕后（时间继电器一般控制在 30s），时间继电器常闭触头断开，使 KM3 失电释放，同时由于 KM3 的释放又接通了 KM2 线圈的电源，KM2 吸合，电动机定子绕组改为△联结运行。

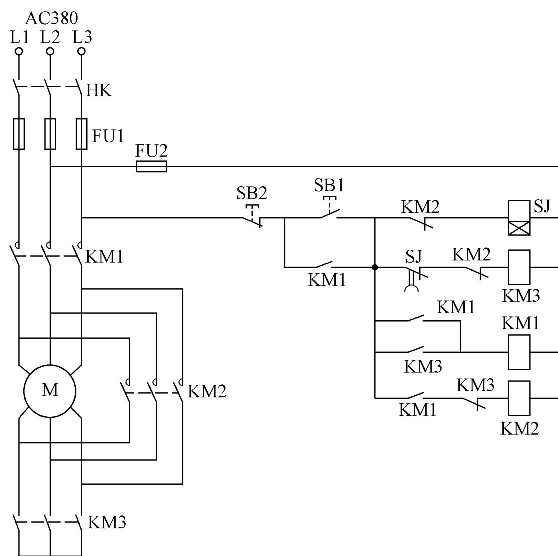


图 3-14　电动机Y/△减压起动自动控制电路（四）

5. 电动机Y/△减压起动自动控制电路（五）

电动机Y/△减压起动自动控制电路

（五）如图3-15所示。在起动电动机时，先合上开关HK，按下按钮SB1，接触器KM1得电吸合，接触器自锁。星形起动接触器线圈KM3和时间继电器线圈SJ保持通电，常开主触头KM3接通，电动机定子绕组接成丫联结起动。同时，常闭辅助触头KM3分断，使接三角形运行接触器线圈KM2断路。待时间继电器延时间达到设定时间后（时间继电器可由电动机的容量和起动时负载的情况来调整），时间继电器SJ的常闭延时分断和常开延时闭合的触头分别动作，使KM3断电，使KM2线圈通电，并使其触头自锁，使电动机定子绕组接成△联结运行。同时常闭辅助触头KM2断开，使线圈SJ和KM3断电。

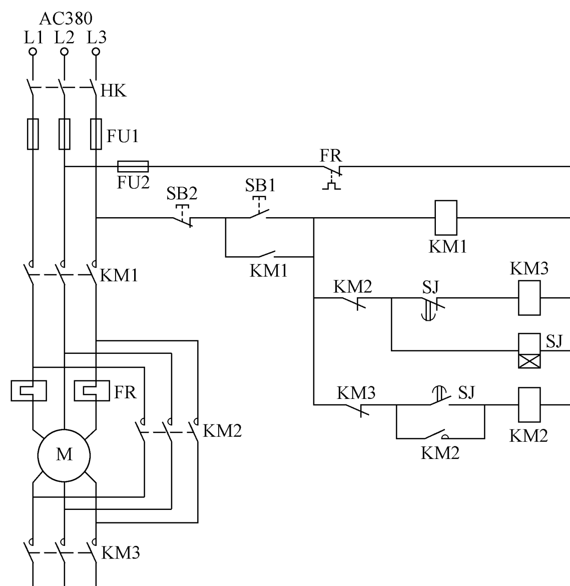


图3-15　电动机丫/△减压起动自动控制电路（五）

6. 电动机丫/△减压起动自动控制电路（六）

电动机丫/△减压起动自动控制电路（六）如图3-16所示。电路工作过程：合上断路器QF接入三相电源。按下起动按钮SB2，交流接触器KM1线圈回路通电吸合并通过自己的辅助常开触头自锁，其主触头闭合接通电动机三相电源，时间继电器KT线圈也通电吸合并开始延时，交流接触器KM3线圈通过时间继电器的延时断开接点通电吸合，KM3的主触头闭合将电动机定子绕组的尾端连接，电动机定子绕组接成丫联结，这时电动机定子绕组在丫联结下减压起动。

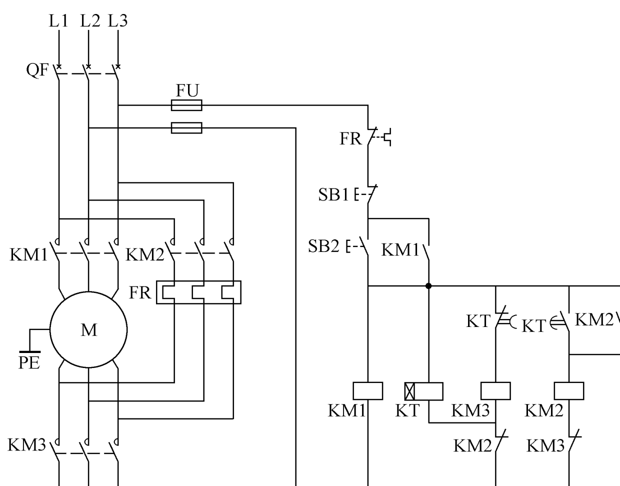


图3-16　电动机丫/△减压起动自动控制电路（六）

当时间继电器KT的整定时间达到后，其延时常开触头打开，交流接触器KM3线圈回路断电，主触头打开电动机定子绕组尾端的接线，KM3的辅助常闭触头闭合为KM2线圈的

通电做好准备。

时间继电器 KT 动作使其延时常开触头闭合，接通 KM2 线圈回路，使得 KM2 通电吸合并通过自己的辅助常开触头自锁，KM2 主触头闭合将定子绕组接成三角形，电动机定子绕组在△联结下运行。

在图 3-16 所示电路中，电动机的过载保护由热继电器 FR 完成，电路中的互锁环节有：KM2 常闭触头接入 KM3 线圈回路。KM3 常闭触头接入 KM2 线圈回路。

若时间继电器设定的起动时间过短，电动机的转速还没提起来，这时如果切换到运行，电动机的起动电流还会很大，造成电压波动。起动时间设定过长，电动机会因在低电压、大电流下时间过长，而使电动机发热烧毁。为了防止起动时间过短或过长，时间继电器的整定时间一般按电动机功率 1kW 约 0. 6 ~0. 8s 整定。

7. 电动机丫/△减压起动自动控制电路（七）

图 3-17 所示的电动机丫/△减压起动自动控制电路（七），具有短路、过载、失电压保护性能。可以两地控制，具有外部控制端子，图中 2SB1 、2SB2 为外部控制按钮，可以控制电动机的起动及停机。

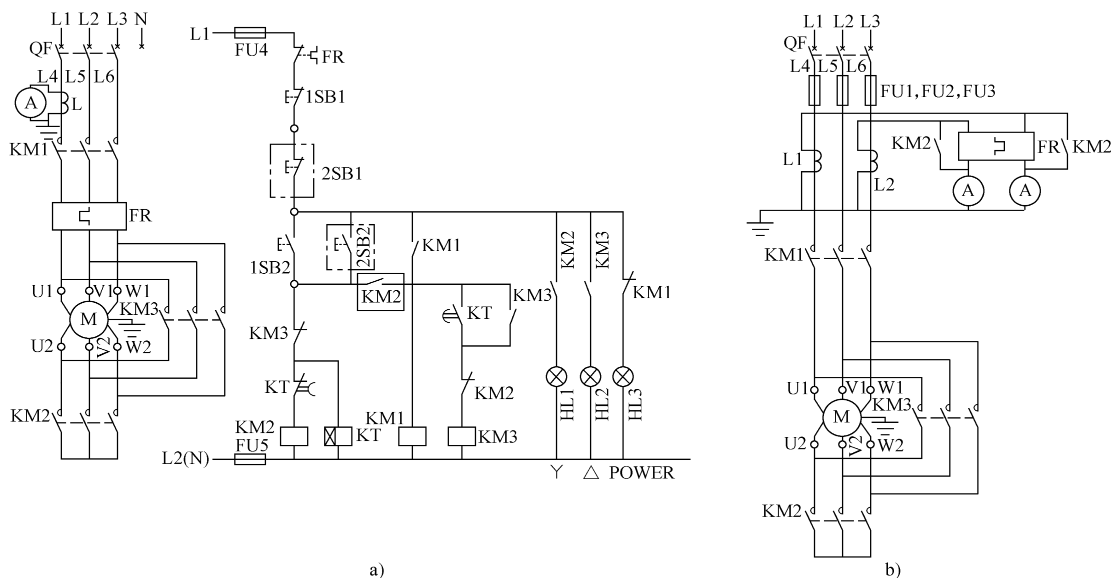


图 3-17　电动机丫/△减压起动自动控制电路（七）

图 3-17a 所示电路为常用的丫/△起动电路，比较适合于小功率的电动机，对于功率较大的电动机，主电路通常采用如图 3-17b 所示的电路。此电路在电动机定子绕组为丫联结起动时将热继电器短接，避免由于起动电流过大导致误动作，同时由于电流互感器的倍率原因，热继电器可以选用小规格的型号。

8. 电动机丫/△减压起动自动控制电路（八）

电动机的丫/△减压起动自动控制电路（八）如图 3-18 所示。电路中主要元件的作用：

①起动按钮 SB2：手动按钮，可控制电动机的起动运行。

②停止按钮 SB1：手动按钮，可控制电动机的停止运行。

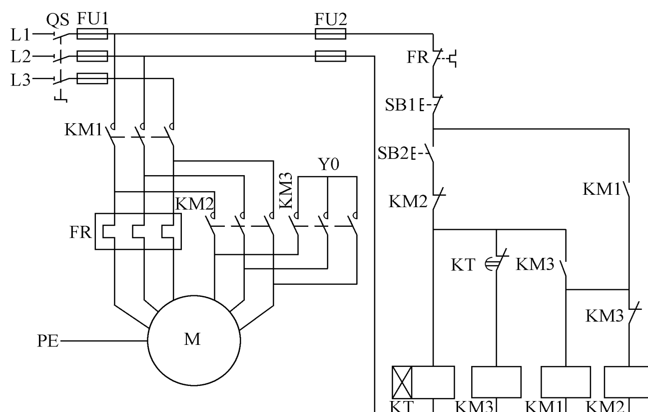


图 3-18　电动机Y/△减压起动自动控制电路（八）

③主交流接触器 KM1：电动机主电路用接触器，起动时通过电动机起动电流，运行时通过正常运行的线电流。

④Y形联结的交流接触器 KM3：用于电动机起动时作Y联结的交流接触器，起动时通过Y联结减压起动的线电流，起动结束后停止工作。

⑤△联结的交流接触器 KM2：用于电动机起动结束后恢复△联结作正常运行的接触器，通过绕组正常运行的相电流。

⑥时间继电器 KT：控制电动机的起动过程时间（电动机起动时间），即电动机从起动开始到额定转速及运行正常后所需的时间。

⑦热继电器主要作为电动机的过负荷保护。

图 3-18 所示的三相异步电动机Y/△转换起动的控制电路工作原理：

按下起动按钮 SB2 后，电源通过热继电器 FR 的常闭触头、停止按钮 SB1 的常闭触头、△联结交流接触器 KM2 常闭辅助触头，接通时间继电器 KT 的线圈使其动作并延时开始。此时时间继电器 KT 虽已动作，接点应断开，但其延时触头是瞬间闭合延时断开的（延时结束后断开），同时通过此 KT 延时触头去接通Y联结的交流接触器 KM3 的线圈回路，则交流接触器 KM3 带电动作，其主触头接通电动机定子三相绕组，使电动机处于Y联结的运行状态；KM3 辅助常开触头闭合，接通主交流接触器 KM1 的线圈。

主交流接触器 KM1 得电后，其辅助触头进行自锁功能；而 KM1 的主触头闭合，接通三相交流电源，此时电动机起动过程开始。

当时间继电器 KT 延时断开常闭触头的时间达到设定值后，时间继电器 KT 触头随即断开。时间继电器 KT 触头断开后，则交流接触器 KM3 失电。KM3 主触头切断电动机绕组的Y联结回路；同时接触器 KM3 的常闭辅助触头闭合，接通△联结交流接触器 KM2 的线圈。

当交流接触器 KM2 动作后，其主触头闭合，使电动机正常运行于△联结状态；而 KM2 的常闭辅助触头断开使时间继电器 KT 线圈失电，并对交流接触器 KM3 联锁，电动机处于正常运行状态。

9. 电动机Y/△减压起动自动控制电路（九）

三相异步电动机直接起动控制电路简单、经济、操作方便。但对于容量较大的电动机来

说，由于起动电流大，会引起较大的电网压降，所以必须采用减压起动的方法，以限制起动电流。

减压起动虽然可以减少起动电流，但是也降低了起动转矩，因此仅适用于空载或轻载起动。减压起动有多种方法，Y/△减压起动控制电路是按照时间原则来实现控制的。起动时将电动定子绕组连接成星形，加在电动机每相绕组上的电压为额定电压的 $1/\sqrt{3}$，从而减小了起动电流。待起动后按预先整定的时间把电动机换成三角形联结，使电动机在额定电压下运行。控制电路如图 3-19 所示。

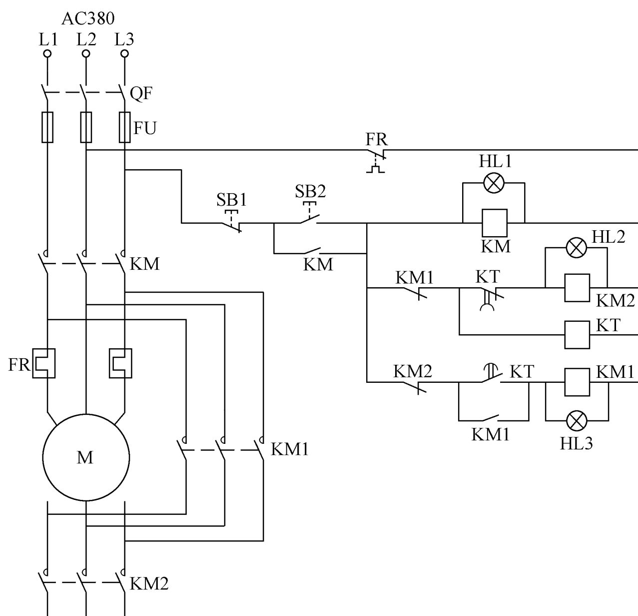
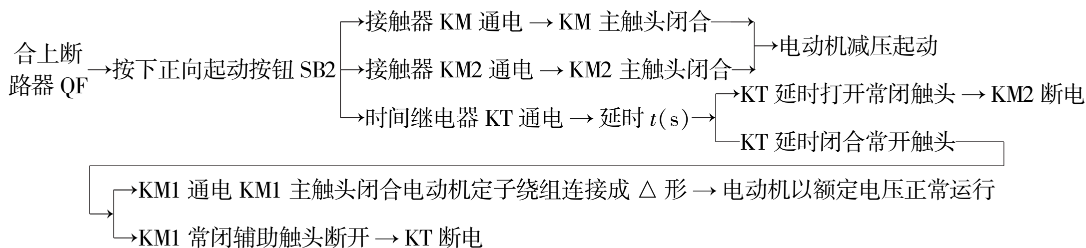


图 3-19　电动机Y/△减压起动自动控制电路（九）

该电路结构简单，缺点是起动转矩也相应下降为三角形联结的 1/3，转矩特性差，Y/△起动过程如下：



10. 电动机Y/△减压起动自动控制电路（十）

用两个接触器的电动机Y/△减压起动控制电路（十）如图 3-20 所示。电路工作过程：按下起动按钮 SB1，KM1、SJ 得电动作，KM1 常开辅助触头闭合自锁，KM2 无电，其接在电动机星点的常闭辅助触头闭合，电动机绕组接成Y联结减压起动。SJ 达到设定时间后，SJ 延时断开的常闭触头断开，KM1 失电释放，其常闭辅助触头闭合。同时 SJ 延时闭合的常开触头闭合（作临时自锁），KM2 得电动作，其常闭触头打开，将主电路Y联结断开。同时其常开触头闭合，使 KM1 得电动作，闭合其主回路常开接点，电动机由Y联结转换为△联结。

图 3-20 所示电路仅适应于功率在 13kW 以下的△联结的小容量电动机。否则，由于

KM2接触器常闭辅助触头接在主电路中，容量小，很易烧损。

11. 电动机Y/△减压起动自动控制电路（十一）

电动机Y/△减压起动自动控制电路（十一）如图3-21所示。电路元器件参数见表3-4。

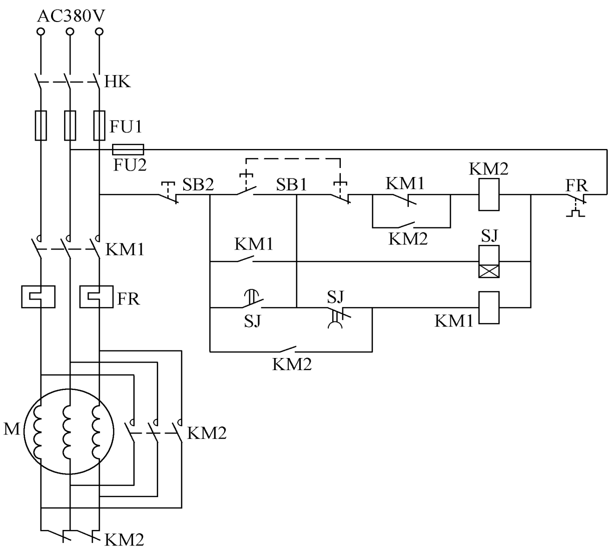


图3-20 电动机Y/△减压起动自动控制电路（十）

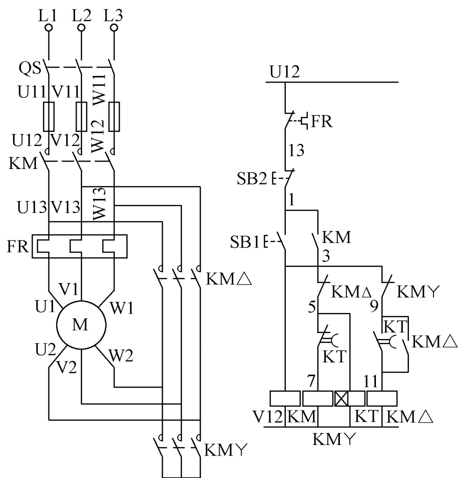


图3-21 电动机Y/△减压起动自动控制电路（十一）

表3-4 元器件参数

代号	名称	型号	规格	数量	备注
QS	负荷开关	DZ47	5A/3P	1	
FU	螺旋式熔断器	RL1-15	配熔体3A	3	
KM、KMY、KM△	交流接触器	CJX2-9/380	AC380V	3	
SB1、SB2	按钮	LAY3-11		2	SB1绿 SB2红
KT	通电延时时间继电器	JS7-1A		1	
FR	热继电器	JR-36	整定电流0.63A	1	
M	三相笼型异步电动机		380V 0.45A 120W	1	

12. 电动机Y/△减压起动的自动控制电路（十二）

电动机Y/△减压起动自动控制电路（十二）如图3-22所示。因其主电路与手动控制电路的主电路完全相同，故图3-22仅画出控制回路。

按起动按钮SB2→接触器KM1、时间继电器KT同时获电吸合→接触器KM1吸合→其常开触头KM1接通接触器KM的线圈，使接触器KM获电吸合，并经其自锁触头KM自锁。接触器KM1、KM将电动机定子绕组接成星形联结减压起动；接触器KM1的常闭触头断开，切断接触器KM2的线圈回路。

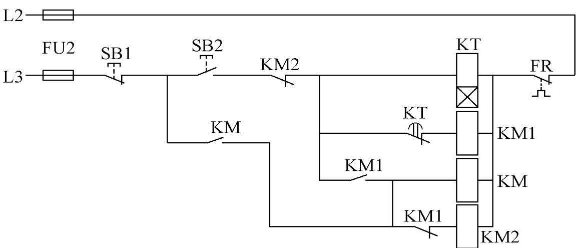


图3-22 电动机Y/△减压起动自动控制电路（十二）

KT吸合→其常闭触头经过预先整定的延时时间后断开→切断接触器

KM1 线圈回路，使 KM1 断电释放→其常闭触头 KM1 恢复闭合→接通接触器 KM2 线圈回路，使接触器 KM2 获电吸合→接触器 KM2、KM 将电动机定子绕组接成三角形联结全压运行；接触器 KM2 的常闭触头断开，切断时间继电器 KT 的线圈供电回路，使其断电释放。

13. 电动机Y/△减压起动自动控制电路（十三）

功率大于 55kW 以上的电动机，起动电流比较大，接触器所需的灭弧时间较长。为了防止在Y/△转换时，因为来不及熄灭的弧光引起相间短路，从Y联结换为△联结时，需要延时 0.5 ~ 1s 的时间，以保证在电弧彻底熄灭后，才换接成△形。图 3-23 的控制电路则可以实现上述要求。

图中，KA 为中间继电器，其作用是控制电动机定子绕组由Y联结转换为△联结；KT1 为通电延时型时间继电器，其作用是控制Y联结起动的时间；KT2 为断电延时型时间继电器，其作用是控制电动机定子绕组由Y联结转换为△联结的延时。

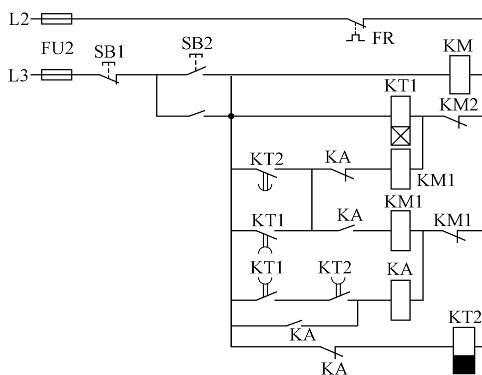


图 3-23　电动机Y/△减压起动自动控制电路（十三）

起动时，按下起动按钮 SB2 后，接触器 KM、KM1 及时间继电器 KT1、KT2 均获电吸合，将电动机接成星形减压起动。待达到 KT1 的预先整定时间后：

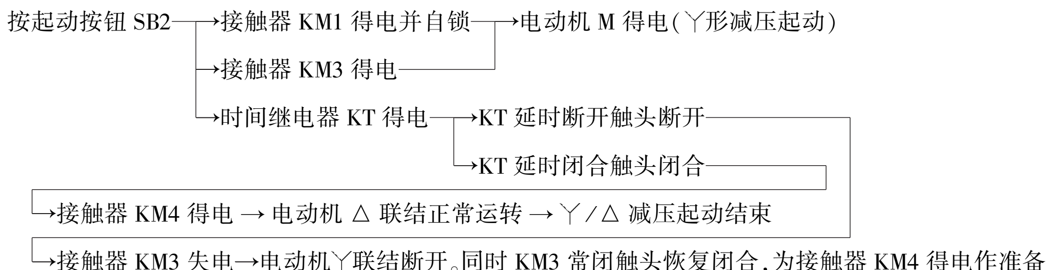
KT1 的延时常闭触头断开，切断 KM1 线圈回路；

KT1 的延时常开触头闭合，接通中间继电器 KA 的线圈回路，使 KA 获电吸合并自锁。KA 的两个常闭触头断开，其一，切断 KM1 线圈回路，使 KM1 断电释放；其二，切断 KT2 线圈回路，使 KT2 断电释放，KT2 延时闭合常闭触头延时闭合，这时 KM2 才通电吸合，电动机定子绕组转为三角形联结，全压运行，KM2 吸合后，其常闭触头 KM2 切断了 KT1 和 KM1 的线圈回路。

从上述工作过程看出，KM1 断电后 KM2 并不能瞬间吸合，而由 KT2 的常闭触头延时一小段时间后才接通 KM2 线圈电路（此时 KM1 的主触头弧光已熄灭），电动机才转换为三角形联结运行。图 3-23 所示的控制电路安全可靠。缺点是所用元件多而且复杂，不易维修。该电路适用于功率大于 55kW 的电动机上。

实例 5　电动机正反转Y/△减压起动控制电路

三相异步电动机的正反转及Y/△减压起动控制电路如图 3-24 所示。正转Y/△减压起动控制过程如下：



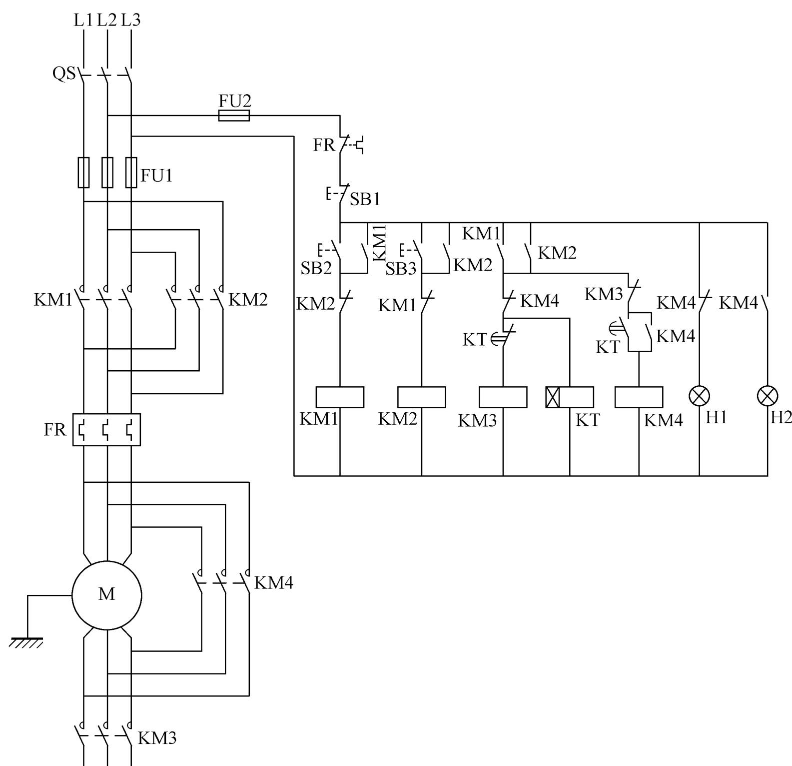


图 3-24 电动机正反转及Y/△减压起动控制电路

三相刀开关 QS 合闸通电后，指示灯 H1 亮，表明控制电路处于“准备好”的状态，按起动按钮 SB2 后且在转换为△联结（正常运行）之前，该指示灯保持常亮状态，以表明控制电路处于Y减压起动状态。当转入△联结正常运行状态后，H1 指示灯熄灭，同时指示灯 H2 亮，表明已进入正常运行状态，之后，只要不按停止按钮 SB1，指示灯 H2 将一直保持常亮状态。

反转Y/△减压起动控制过程如下：

按起动按钮 SB3 → 接触器 KM2 得电并自锁 → 电动机 M 得电(Y联结减压起动)
→ 接触器 KM3 得电
→ 时间继电器 KT 得电 → KT 延时断开触头断开
→ KT 延时闭合触头闭合
→ 接触器 KM4 得电 → 电动机定子绕组 △ 联结正常运转 → Y/△ 减压起动结束
→ 接触器 KM3 失电→电动机定子绕组Y联结断开。同时 KM3 常闭触头恢复闭合，为接触器 KM4 得电作准备

指示灯 H1 和 H2 的亮灭情况与正转减压起动控制过程类似。

实例 6 电动机人/△减压起动控制电路

Y/△减压起动有很多优点，但美中不足的是起动转矩太小。能否设计一种新的减压起动方法，既具有星形联结起动电流小，又不需要专用起动设备，同时又具有三角形联结起动

转矩大的优点，以期完成更为理想的起动过程，⊿/△减压起动便能满足这种要求。在起动时，将电动机定子绕组一部分接成星形，另一部分接成三角形。待起动结束后，再转换成三角形联结，转换过程仍按照时间原则来控制。

⊿/△减压起动的方法仅适用于定子绕组为特殊设计的异步电动机，通常的电动机定子为六个出线端，而这类电动机有九个出线端，如图 3-25 所示。

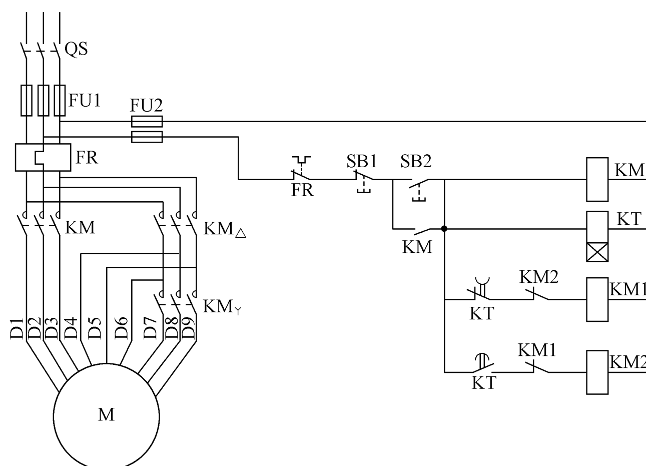


图 3-25　电动机⊿/△减压起动控制电路

起动时，把定子绕组的一部分接成三角形，另一部分接成星形，由于其外形像一个三角形三条边依次延长后的图形，所以称之为延边三角形。

起动时，将电源接在三个绕组的始端 U1（D1）、V1（D2）、W1（D3）。电动机正常运行的接法为：三个始端分别与三个尾端连接，即 U1（D1）和 W2（D6）短接；V1（D2）与 U2（D4）短接；W1（D3）与 V2（D5）短接，然后各自与电源连接即可。

电动机接成⊿/△时，每相绕组的相电压、起动电流与起动转矩的大小，是根据各延边部分匝数 N1 与内三角形匝数 N2 之比，定子绕组相电压及起动电流及转矩的关系见表 3-5。

表 3-5　⊿起动定子绕组相电压与起动电流及转矩关系

N1/N2	每相绕组相电压/V	起动电流/起动转矩
0.5	290	3.6～4.2
1	264	3～3.5
2	230	2.6～3.1

在实际应用中，可根据不同的使用要求，选择不同抽头比，进行减压起动。在图 3-25 中交流接触器 KM1、KM2、KM 依次为：起动用、运转用和起动运转公用的接触器。主电路及电动机的接法对控制电路提出的要求是：起动时，KM1、KM 先后获电吸合，将电动机接成延边三角形减压起动；正常运转时，KM1 断电释放，KM2 获电吸合，KM 仍然保持吸合状态，电动机接成三角形正常运行。

以上这些要求与星/角减压起动电路对控制电路的要求是完全相同的。因此尽管延边三角形减压起动与星/角减压起动主电路完全不同，但控制电路却可以共用。

实例7　电动机手动自耦变压器减压起动电路

自耦变压器减压起动是笼型异步电动机起动方法之一。其装置具有结构紧凑，不受电动机绕组接线方式限制等优点，还可按容许的起动电流和所需要的起动转矩选用不同的变压器电压抽头，故适用于容量较大的电动机。

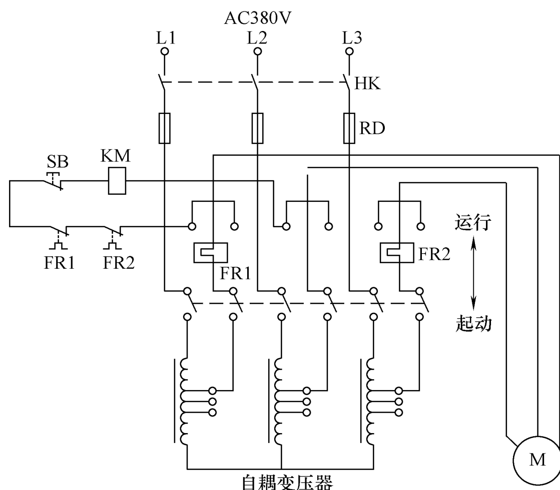


图3-26　电动机手动自耦减压起动电路

自耦变压器是由带抽头的线圈和硅钢片的铁心构成的，起动时电流通过自耦变压器的线圈，起降低电压的作用。一般自耦变压器具有三组抽头，其电压一般是电源电压的40%、60%、80%左右，供不同的负载选用。当电动机拖动的机械负载较大，起动困难时，选80%抽头，当负载较小或要求起动电流小的场所，则选40%抽头，一般情况下则选60%抽头（自耦变压器出厂时一般接在60%抽头上）。由自耦变压器和其他元件组成的起动设备，称作补偿器或自耦减压起动器（箱）。采用自耦变压器减压起动的控制电路，有手动和自动两种。

手动自耦变压器减压起动电路如图3-26所示。起动电动机时，将刀柄推向起动位置，此时三相交流电源通过自耦变压器与电动机相连接。待起动完毕后，把刀柄拉向运行位置，切除自耦变压器，使电动机直接接到三相电源上，电动机正常运转。此时吸合线圈KM得电吸合，通过联锁机构保持刀柄在运行位置。停转时，可按下SB按钮。

实例8　电动机手动控制补偿器电路

经常采用的QJ3型手动补偿器如图3-27所示。QJ3型补偿器内部主要包括自耦变压器、保护装置、触头系统和手柄操作机构等部分，自耦变压器的抽头有两种，分别是电源电压的65%和80%（出厂时一般都接在65%抽头上），这样，就可以在电动机起动时，根据机械负载的大小选择不同的起动电压。须注意的是自耦变压器的线圈，是按短时工作制设计的，一般只能带负载连续起动两次。

保护装置有过载保护和欠电压保护两种。过载保护采用热继电器FR；欠电压保护采用失压脱扣器FV，它由线圈、铁心和衔铁组成，电源电压正常时，线圈两端电压也正常，线圈产生的磁通能够吸住衔铁，当电源电压降低到额定电压的85%以下时，失压脱扣器的衔铁释放，电动机断电停转。起动器的触头系统包括两排静触头和一排动触头，全部装在补偿器的下部，浸在绝缘油中。绝缘油的作用是熄灭触头电弧。绝缘油必须保持清洁，防止水

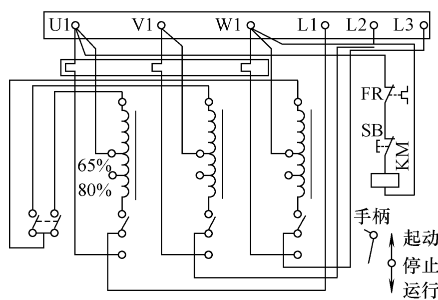


图3-27　QJ3型手动补偿器的原理

分和杂质掺入，以保证其良好的绝缘性能。操作机构包括手柄主轴和联锁装置等。

当手柄在“停止”位置时，装在主轴上的动触头与两排静触头都不接触，电动机不通电，处于停止状态，当手柄向前推到“起动”位置时，动触头与上面的一排静触头接通，电源通过三副软金属带、动触头、起动静触头、三个 65% 抽头的自耦变压器接至电动机，电动机减压起动。当电动机转速上升到稳定值时，将手柄向后迅速扳到“运行”位置，此时动触头与下面一排运行静触头接通，电源通过三副软金属带、动触头、运行静触头、热继电器的热元件至电动机，使电动机在额定电压下运行。如需要停止电动机，只要按下停止按钮 SB，失压脱扣器 KM 线圈断电，衔铁释放，通过机械机构使补偿器手柄自动回到“停止”位置，电动机失电停转。QJ3 型补偿器还设有联锁装置（机械联锁），防止误将手柄直接扳到“运行”位置。

实例 9　电动机自动控制自耦变压器起动电路

手动控制补偿器电路有操作笨拙及不能远距离控制等缺点，为此人们又设计出由交流接触器、中间继电器、时间继电器等元件构成的自动控制电路。这种自动控制电路有多种型号及规格的成品补偿器出售。供不同功率的电动机选配。但成品补偿器一般售价较高。在实际工作中，可按下面介绍的电路自行装配。以节约成本。自动控制的自耦变压器减压起动电路的主电路一般有三种接法，如图 3-28 所示。

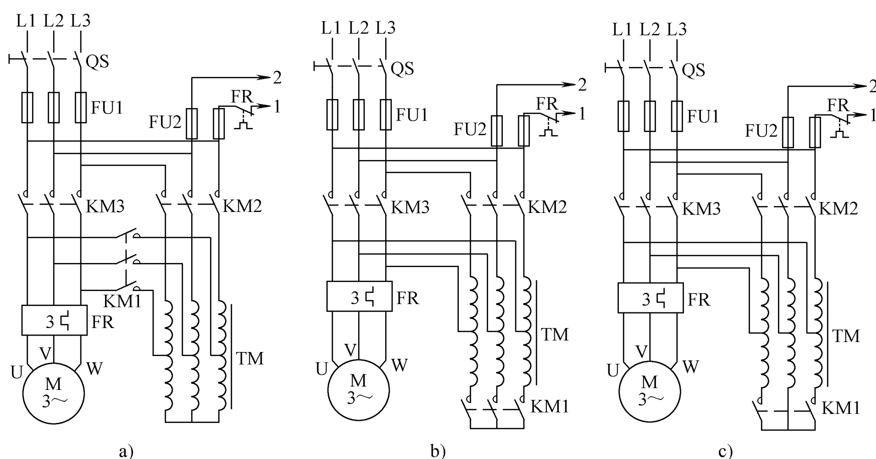


图 3-28　自耦变压器减压起动主电路

自耦变压器减压起动电路主回路的这三种接法，在实践中均有采用，一般图 3-28c 适用于 KM1、KM2 采用有五个主触头的接触器；在 KM1、KM2 不合用一个接触器的情况下；使用图 3-28a 的接法较好，这种接法的优点：在电动机正常运转后，自耦变压器与电源彻底脱离，自耦变压器不带电。对安全比较有利。

由接触器等构成的自耦变压器减压起动控制电路虽然有许多种，但归纳起来有下面的四类型。

①用按钮的控制电路；

②使用中间继电器的控制电路；

③使用时间继电器的控制电路；

④既用时间继电器，又用中间继电器的较复杂的控制电路。

按钮的控制的电路如图3-29所示。图中，SB2是起动按钮，SB3为运转按钮、SB1是停止按钮。控制原理如下：

起动时：按起动按钮SB2且暂不松手→接触器KM1、KM2先后获电吸合→电源通过自耦变压器减压后送给电动机，电动机减压起动；待电动机转速达到稳定值时（即电动机转速不再上升时），按运转按钮SB3（此时仍需按住SB2不放）→接触器KM1、KM2断电释放，而接触器KM3获电吸合并自锁，电动机全压运行。因KM3具有自锁功能，所以正常运行后，不必按任何按钮。

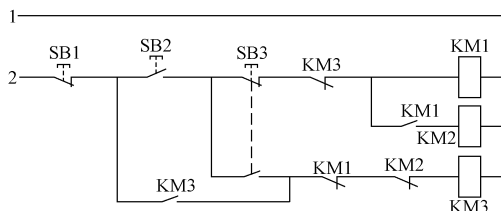


图3-29 按钮控制的电路

停止：如需要停止，按一下SB1即可。

图3-29所示控制电路的优点是简单、容易安装和维修，投资少而且不容易因误操作而烧毁电动机等；缺点是在电动机低压起动的整个时间内手不能离开按钮SB2。但大多数电动机的起动时间仅需10s左右时间，这种操作不便影响不大。

实例10 补偿器用中间继电器控制电路

针对图3-29所示电路在起动期间手不能离开按钮的缺点而设计的。采用中间继电器控制的电路如图3-30所示。图3-30所示电路的工作原理简述如下：

图中，接触器KM1和KM2是起动用接触器，KM3是运转用接触器。KA为中间继电器，其作用是控制起动、运行接触器。SB1是停止按钮、SB2是起动按钮、SB3为运转按钮。

起动时，按起动按钮SB2，接触器KM1与KM2先后获电吸合，电动机通过自耦变压器TM减压起动。电动机的转速逐渐上升，待电动机转速不再上升时，按运转按钮SB3，中间继电器KA获电吸合，切断接触器KM1和KM2后，接通KM3，电动机获全压正常运行。如果电动机主电路安装有检测电动机电流用的电流表，起动时要观察电流表。当起动瞬间，电流很大，随着电动机转速上升，电流很快下降，电动机转速不变时，电流表指示也就稳定了。电动机的转速不容易观察，但是电流表的指针变化却是很容易察看。所以，有电流表时，要观看电流表，以确定电动机起动、运转的转换时刻（绝大多数减压起动的电动机，都装有电流表）。

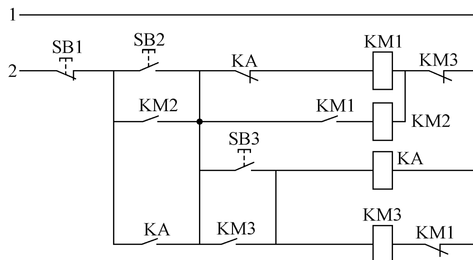


图3-30 中间继电器控制的电路

实例11 补偿器用时间继电器控制电路

补偿器用时间继电器控制的电路如图3-31所示。工作原理简述如下：

图中，KM1和KM2是减压起动用交流接触器，KM3是正常运转用交流接触器。KT为通电延时型时间继电器，它的作用是使电路自动地由起动转换为运转。SB1为停止按钮，

SB2 为起动按钮。

起动时按 SB2，KM1、KM2 和 KT 先后获电吸合并自锁，电动机通过自耦变压器减压起动。待达到 KT 预先整定的时间后，KT 的延时触头动作，其中，常闭触头切断了 KM1 线圈回路，使 KM1 断电释放，随之 KM2 也断电释放；KT 的常开触头接通了 KM3 的线圈回路，使 KM3 获电吸合并自锁。电动机获全压正常运行。图中，KM3 常开触头为 KM3 的自锁触头；时间继电器 KT 的瞬动常开触头为起动时用的自锁触头，常闭触头 KM1、KM3 为联锁触头。

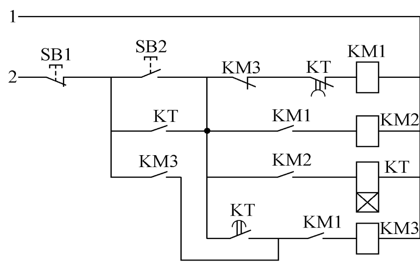


图 3-31　补偿器用时间继电器控制电路

实例 12　补偿器用时间继电器与中间继电器控制电路

既使用时间继电器又使用中间继电的控制电路较前面介绍的电路略复杂一些，其工作效能也相对完善一些。XJ01 型补偿器的控制电路如图 3-32 所示。其主电路与图 3-28b 相同。图 3-32 所示控制电路的工作原理简述如下：

图中接触器 KM1、KM2 仍然是起动用，而 KM3 是运转用的交流接触器；时间继电器 KT 为通电延时型，在此起延时接通 KA 的作用；中间继电器 KA 在此的作用是，负责起动和运转之间的转换，它在正常运行时始终获电吸合。SB1 是停止按钮；SB2 是起动按钮。KM1、KA 这两个常开触头为各自的自锁触头，KM1 常闭触头为联锁用触头。

起动时，按起动按钮 SB2，接触器 KM1 首先获电吸合并自锁，然后 KT、KM2 同时获电吸合，电动机通过自耦变压器减压起动；待达到 KT 预先整定的时间后，KT 的延时常开触头闭合，接通中间继电器 KA 的线圈回路，KA 获电吸合并自锁。其常闭触头断开，切断 KM1 供电回路使 KM1、KM2 和 KT 先后失电释放；其常开触头接通 KM3 线圈回路，KM3 获电吸合，电动机正常运转。需停止运转时，按下停止按钮 SB1 即可。

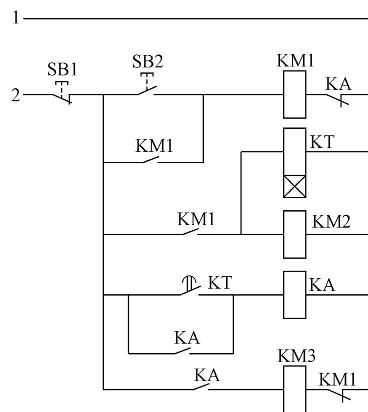


图 3-32　XJ01 型补偿器的控制电路

实例 13　80kW 电动机及以上的补偿器控制电路

80kW 及以上的大功率电动机的特点是额定电流大，其起动时的电流就更大。即使是减压起动，起动电流也达额定电流的 3～4 倍。针对上述电动机起动电流大的特点，作为过载保护用的热继电器 FR 中的热元件，一般都不再直接串入主回路中；而是增加使用两个电流互感器，并将热继电器的热元件串入电流互感器的二次回路，以降低通过热元件的电流。并在减压起动期间，用中间继电器的常闭触头，将热元件短路分流。以使起动期间的大电流不致流过热元件。正常运行时，中间继电器的常闭触头断开，使热元件投入正常工作。热元件及电流互感器 TA 的接线如图 3-33 所示。

XJ01 型 80～300kW 减压起动箱的主电路与图 3-28c 相同，XJ01 型 80～300kW 减压起动

箱的控制部分原理如图 3-34 所示。图中，接触器 KM1 具有五个主触头，用作减压起动，KM2 是正常运行的交流接触器；KT 是通电延时型时间继电器，KA1；KA1、KA2 为中间继电器，KA1 负责转换起动、运行。KA2 为手动起动时的起动开关。SB1 是自动控制按钮；SB2 是手动起动按钮；SB3 是手动运转按钮；SB4 是停止按钮。

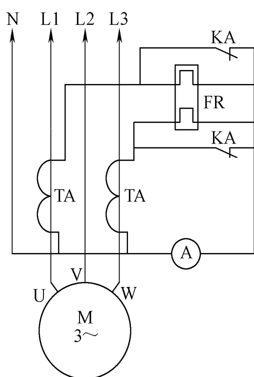


图 3-33　热元件及电流互感器 TA 接线

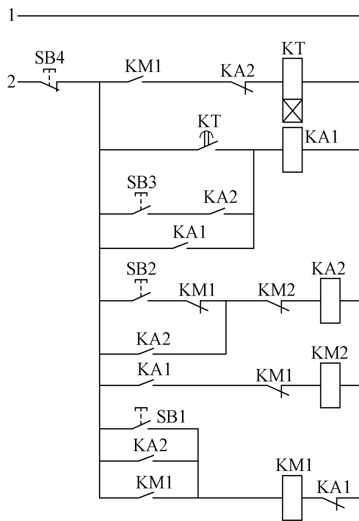


图 3-34　XJ01 型 80 ~ 300kW 减压起动器控制电路

该补偿器具有两种控制方式，一种是自动，另一种是手动。所谓自动，就是只需要按一下自动控制按钮 SB1，就可以自动完成从起动到运转的全过程；所谓手动，就是除按动手动按钮 SB2 外，还需要按运转按钮 SB3，才能完成起动到运转的转换。

1. 自动方式控制

按自动控制按钮 SB1，起动接触器 KM1 获电吸合并自锁，电动机通过自耦变压器 TM 减压起动。同时 KM1 的另一个常开触头接通了 KT 的线圈回路，使 KT 获电吸合，待达到 KT 预定的时间后，延时闭合常开触头 KT 闭合，使 KA1 获电吸合并自锁，其常闭触头 KA1 断开，切断 KM1 线圈回路，使 KM1 断电释放，而其常闭触头闭合，接通 KM2 线圈回路，使 KM2 获电吸合，其主触头 KM2 闭合，使电动机全压正常运行。

2. 手动方式控制

按起动按钮 SB2，KA2 获电吸合并自锁，其常闭触头断开，切断 KT 供电回路，使 KT 退出工作；其常开触头闭合，使 KM1 获电吸合并自锁，电动机减压起动。待电动机转速不再上升时（或电流表指针不动时），按手动运转按钮 SB3，使负责转换的中间继电器 KA1 获电吸合并自锁，KA1 动作，完成起动、运转之间的转换，电动机正常全压运行。

使用自耦变压器减压起动电动机时应注意以下事项：

①因自耦变压器是按短时工作制设计的，所以要求起动时间要小于 2min（包括一次或连续数次起动时间的总和），若连续起动时间总和已达到 2min，刚起动后的冷却时间，应不少于 4h 后，才能再次起动，因此，用自耦变压器起动的方法仅适用于间歇起动的应用，不适宜在频繁操作条件下使用。

②从起动切换至运转，必须待电动机接近额定转速后进行，否则，容易损坏接触器，对

低压配电网络也不利。

③在满足起动时间小于 2min 的前提，以及满足起动转矩的条件下，应尽量使用电压较低的抽头。这样对减少起动电流有利。

④接在主电路中的热继电器的调整电流要等于电动机的额定电流；接在电流互感器二次回路中的热继电器的调整电流值，要等于电动机额定电流除以电流比的商数。

实例 14　电动机自耦变压器减压起动控制电路

1. 电动机自耦变压器减压起动控制电路（一）

在自耦变压器减压起动的控制电路中，限制电动机起动电流是依靠自耦变压器的减压作用来实现的。自耦变压器的一次侧和电源相连，自耦变压器的二次侧与电动机相连。自耦变压器的二次侧一般有 3 个抽头，可得到 3 种数值不等的电压。使用时，可根据起动电流和起动转矩的要求灵活选择。电动机起动时，定子绕组得到的电压是自耦变压器的二次电压，一旦起动完毕，自耦变压器便被切除，电动机直接接至电源，电动机进入全电压运行。通常称这种自耦变压器为起动补偿器。这一电路的设计思想和串电阻起动电路基本相同，都是按时间原则来完成电动机起动过程的。电动机自耦变压器减压起动控制电路（一）如图 3-35 所示。电路的工作原理如下：

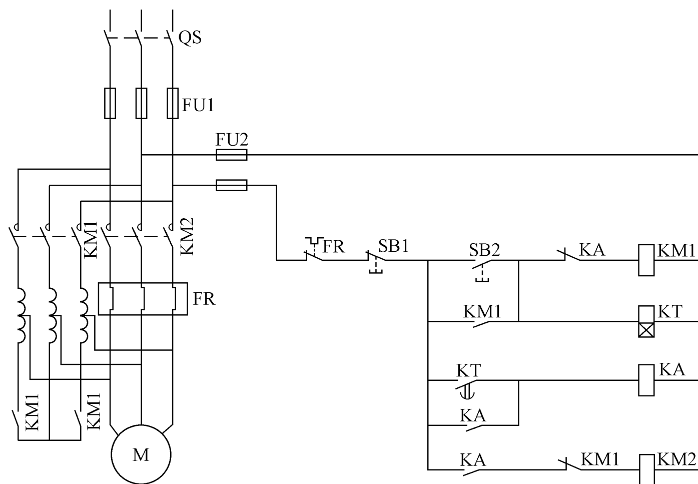


图 3-35　电动机自耦变压器减压起动控制电路（一）

闭合开关 QS，按下按钮 SB2，KM1 和时间继电器 KT 同时得电，KM1 常开主触头闭合，电动机经丫联结的自耦变压器接至电源减压起动。

时间继电器 KT 经一定时间到达延时值，其常开延时触头闭合，中间继电器 KA 得电并自锁，KA 的常闭触头断开，使接触器 KM1 线圈失电，KM1 主触头断开，将自耦变压器从电网切除，KM1 常开辅助触头断开，KT 线圈失电，KM1 常闭触头恢复闭合，在 KM1 失电后，使接触器 KM2 线圈得电，KM2 的主触头闭合，将电动机直接接入电源，使电动机在全电压下正常运行。当按下按钮 SB1，KM2 线圈失电，电动机停止转动。

在自耦变压器减压起动过程中，起动电流与起动转矩的比值按变比平方降低。在获得同样起动转矩的情况下，采用自耦变压器减压起动从电网获取的电流，比采用电阻减压起动要

小得多，对电网电流冲击小，功率损耗小。所以自耦变压器被称之为起动补偿器。换句话说，若从电网取得同样大小的起动电流，采用自耦变压器减压起动会产生较大的起动转矩。这种起动方法常用于容量较大、正常运行为Y联结的电动机。自耦变压器是按照非连续工作制设计制造的，故不允许频繁操作。

2. 电动机自耦变压器减压起动控制电路（二）

电动机自耦变压器减压起动控制电路（二）如图3-36所示。该电路具有以下特点：

①电路适用于电压380V、电动机功率不超过75kW的交流电动机作不频繁自耦减压起动。电路具有短路、过载、失电压保护。

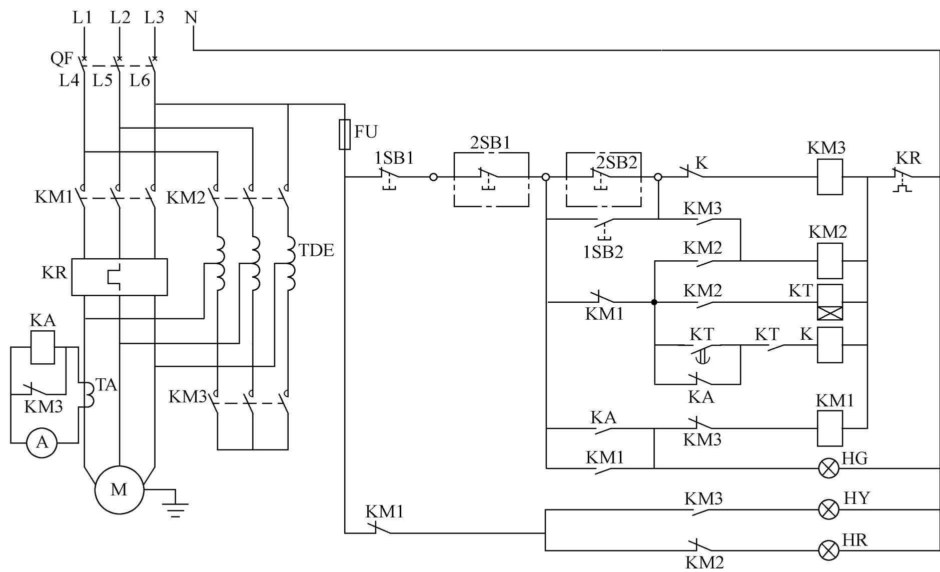


图3-36 电动机自耦变压器减压起动控制电路（二）

②起动至全压运行由电流继电器和时间继电器自动控制，当起动电流下降到1.5倍额定电流时，即相当于80%额定转速时，电动机由起动位置转换到运行状态。电流继电器和时间继电器的整定值见表3-6。

表3-6 保护继电器整定值

电动机功率/kW	11	15	18.5	22	30	37	45	55	75
电动机额定电流/A	22	29	36	42	57	70	84	103	140
时间继电器最大整定值/s	40	40	40	40	40	40	40	40	40
电流继电器整定电流值/A	3.3	4.4	3.6	4.2	4.2	5.3	3.2	3.8	5.2
热继电器整定电流值/A	22	29	36	42	57	70	84	103	140
断路器电磁跳闸线圈/A	25	30	40	50	60	80	100	120	140
电流互感器电流比	50/5	50/5	75/5	75/5	100/5	100/5	200/5	200/5	200/5

注：电流继电器整定值（A）=（电动机额定电流×1.5）/电流互感器电流比。

③可以两地控制，具有外部控制端子，在图3-36中2SB1、2SB2为外部控制按钮，可以

控制电动机的起动及停机。如果不需要外部按钮控制，可直接在接线端子处将 2SB1 按钮的两端短接。

图 3-36 所示的电动机自耦减压起动控制电路的主要元件见表 3-7。

表 3-7　主要元件表

名　称	符　号	规格型号	数　量						
			15kW	22kW	30kW	37kW	45kW	55kW	75kW
断路器	QF	DZ20Y-100/3300	1	1	1	1	—	—	—
		DZ20Y-200/3300	—	—	—	—	1	1	1
接触器	KM1、KM2、KM3	CJ20-16 线圈电压 220V	1	1	—	—	—	—	—
		CJ20-25 线圈电压 220V	1	—	1	1	1	—	—
		CJ20-40 线圈电压 220V	1	1	1	—	—	1	1
		CJ20-63 线圈电压 220V	—	1	—	1	1	—	—
		CJ20-100 线圈电压 220V	—	—	1	1	—	1	1
		CJ20-160 线圈电压 220V	—	—	—	—	1	1	—
		CJ20-250 线圈电压 220V	—	—	—	—	—	—	1
自耦变压器	TDE	QZB-15	1	—	—	—	—	—	—
		QZB-22	—	1	—	—	—	—	—
		QZB-30	—	—	1	—	—	—	—
		QZB-37	—	—	—	1	—	—	—
		QZB-45	—	—	—	—	1	—	—
		QZB-55	—	—	—	—	—	1	—
		QZB-75	—	—	—	—	—	—	1
热继电器	KR	JR16-60/3D	1	1	1	—	—	—	—
		JR16-150/3D	—	—	—	1	1	1	1
时间继电器	KT	ST3PC-B 线圈电压 220V(配基座)	1	1	1	1	1	1	1
电流继电器	KA	JL14-01JG2.5A	1	1	1	1	1	1	1
中间继电器	K	HH52P220V(配基座)	1	1	1	1	1	1	1
熔断器	FU	RT14(含熔体 2A)	1	1	1	1	1	1	1
控制按钮	1SB1、1SB2	LAY3-11 红色	1	1	1	1	1	1	1
		LAY3-11 绿色	1	1	1	1	1	1	1
指示灯	HR、HG、HY	AD11-25 红色 220V	1	1	1	1	1	1	1
		AD11-25 绿色 220V	1	1	1	1	1	1	1
		AD11-25 黄色 220V	1	1	1	1	1	1	1
电流表	A	6L2(电流范围由电流互感器决定)	1	1	1	1	1	1	1
电流互感器	TA	LMZJ-0.5(见表 5-9)	1	1	1	1	1	1	1
接线端子	XT	JH2-2.5	3	3	3	3	3	3	3

3. 电动机自耦变压器减压起动控制电路（三）

电动机自耦减压起动控制电路（三）如图 3-37 所示。该电路具有以下特点：

图3-37 电动机自耦变压器减压起动控制电路（三）

①电路适用于电压380V、电动机功率不超过75kW的交流电动机作不频繁自耦减压起动。控制电路具有短路、过载、失电压保护。

②起动至全压运行由电流继电器和时间继电器自动控制，当起动电流下降到1.5倍额定电流时，即相当于80%额定转速时，电动机由起动转换到运行状态。电流继电器和时间继电器的整定值见表3-8。

③具有自动和手动控制两种方式，在手动方式，可以两地控制，具有外部控制端子，在图3-37中2SB1、2SB2为外部控制按钮，可以控制电动机的起动及停机，如果不需要外部按钮控制，可直接在接线端子处将2SB1按钮的两端短接。在自动方式时，可以由来自外部PLC、传感器等设备的一个无源触头直接控制电动机的起动和停止。

表3-8 保护继电器整定值

电动机功率/kW	11	15	18.5	22	30	37	45	55	75
电动机额定电流/A	22	29	36	42	57	70	84	103	140
时间继电器最大整定值/s	40	40	40	40	40	40	40	40	40
电流继电器整定电流值/A	3.3	4.4	3.6	4.2	4.2	5.3	3.2	3.8	5.2
热继电器整定电流值/A	22	29	36	42	57	70	84	103	140
断路器电磁跳闸线圈/A	25	30	40	50	60	80	100	120	140
电流互感器电流比	50/5	50/5	75/5	75/5	100/5	100/5	200/5	200/5	200/5

注：电流继电器整定值（A）=（电动机额定电流×1.5）/电流互感器电流比。

图3-37所示的电动机自耦减压起动控制电路中的主要元件见表3-9。

表 3-9　主要元件表

名　称	符　号	规 格 型 号	数　量						
			15kW	22kW	30kW	37kW	45kW	55kW	75kW
断路器	QF	DZ20Y-100/3300	1	1	1	1	—	—	—
		DZ20Y-200/3300	—	—	—	—	1	1	1
接触器	KM1、KM2、KM3	CJ20-16 线圈电压 220V	1	1	—	—	—	—	—
		CJ20-25 线圈电压 220V	1	—	1	1	1	—	—
		CJ20-40 线圈电压 220V	1	1	1	—	—	1	1
		CJ20-63 线圈电压 220V	—	1	—	1	1	—	—
		CJ20-100 线圈电压 220V	—	—	1	1	—	1	1
		CJ20-160 线圈电压 220V	—	—	—	—	1	1	—
		CJ20-250 线圈电压 220V	—	—	—	—	—	—	1
自耦变压器	TDE	QZB-15	1	—	—	—	—	—	—
		QZB-22	—	1	—	—	—	—	—
		QZB-30	—	—	1	—	—	—	—
		QZB-37	—	—	—	1	—	—	—
		QZB-45	—	—	—	—	1	—	—
		QZB-55	—	—	—	—	—	1	—
		QZB-75	—	—	—	—	—	—	1
热继电器	KH	JR16-60/3D	1	1	1	—	—	—	—
		JR16-150/3D	—	—	—	1	1	1	1
时间继电器	KT	ST3PC-B 线圈电压 220V(配基座)	1	1	1	1	1	1	1
电流继电器	KA	JL14-01JG2. 5A	1	1	1	1	1	1	1
中间继电器	KA	HH52P220V(配基座)	1	1	1	1	1	1	1
熔断器	FU	RT14(含熔体 2A)	1	1	1	1	1	1	1
控制按钮	1SB1、1SB2	LAY3-11 红色	1	1	1	1	1	1	1
		LAY3-11 绿色	1	1	1	1	1	1	1
转换开关	SA	LW5-15D0414/2	1	1	1	1	1	1	1
指示灯	HR、HG、HY	AD11-25 红色 220V	1	1	1	1	1	1	1
		AD11-25 绿色 220V	1	1	1	1	1	1	1
		AD11-25 黄色 220V	1	1	1	1	1	1	1
电流表	A	6L2(电流范围由电流互感器决定)	1	1	1	1	1	1	1
电流互感器	TA	LMZJ-0. 5(见表 5-11)	1	1	1	1	1	1	1
接线端子	XT	JH2-2. 5	5	5	5	5	5	5	5

4. 电动机自耦变压器减压起动控制电路（四）

电动机自耦变压器减压起动控制电路（四）如图 3-38 所示。电路适用于电压 380V、电动机功率不超过 200kW 的交流电动机作不频繁自耦减压起动。控制电路具有短路、过载、失电压保护。

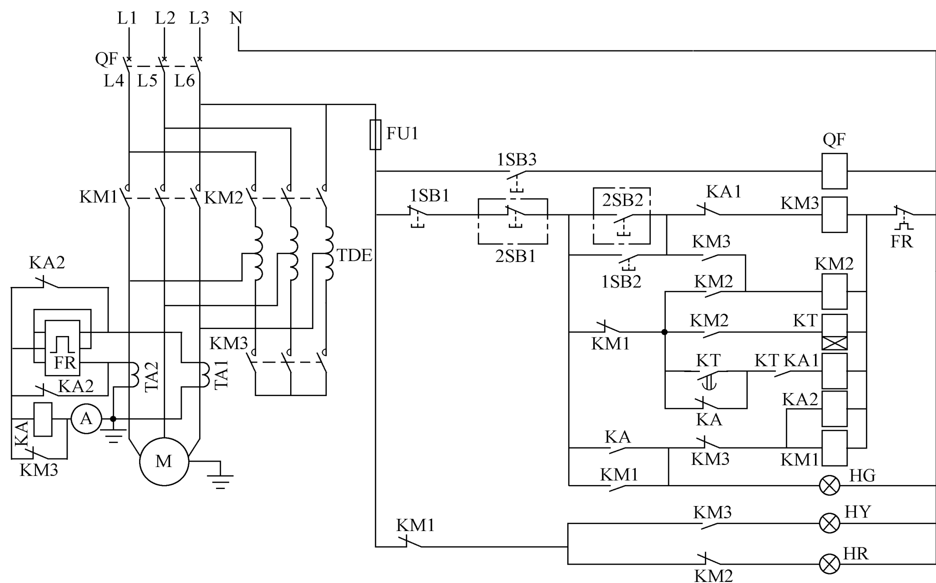


图3-38 电动机自耦变压器减压起动控制电路（四）

起动至全压运行由电流继电器和时间继电器自动控制，当起动电流下降到1.5倍额定电流时，即相当于80%额定转速时，电动机由起动位置转换到运行状态。电流继电器和时间继电器的整定值见表3-10。图3-38所示电路允许连续从冷状态起动2次，每次时间15s，间隔时间30s。

图3-38所示电路可以两地控制，具有外部控制端子，在图3-38中，2SB1、2SB2为外部控制按钮，可以控制电动机的起动及停机。如果不需要外部按钮控制，可直接在接线端子处将2SB1按钮的两端短接。

表3-10 保护继电器整定值

电动机功率/kW	90	110	132	160	180	200
电动机额定电流/A	167	207	248	300	330	367
时间继电器最大整定值/s	40	40	40	40	40	40
电流继电器整定电流值/A	4.2	5.2	4.7	4.5	4.2	4.6
热继电器整定电流值/A	2.8	3.5	3.1	3.8	3.3	3.1
断路器电磁跳闸线圈/A	180	225	250	315	350	400
电流互感器电流比	300/5	300/5	400/5	500/5	600/5	600/5

注：1. 电流继电器整定值（A）=（电动机额定电流×1.5）/电流互感器电流比。
2. 热继电器整定电流值（A）=电动机额定电流/电流互感器电流比。

图3-38所示的电动机自耦减压起动控制电路（四）中的主要元件见表3-11。

表 3-11　主要元件表

名　称	符　号	规格型号	数　量					
			90kW	110kW	132kW	160kW	180kW	200kW
断路器	QF	DZ20Y-200/3310	1	—	—	—	—	—
		DZ20Y-400/3310	—	1	1	1	1	1
接触器	KM1、KM2、KM3	CJ20-63 线圈电压 220V	1	1	—	—	—	—
		CJ20-100 线圈电压 220V	—	—	1	1	1	1
		CJ20-160 线圈电压 220V	1	1	—	—	—	—
		CJ20-250 线圈电压 220V	1	1	1	1	1	1
		CJ20-400 线圈电压 220V	—	—	1	1	1	1
自耦变压器	TDE	QZB-90	1	—	—	—	—	—
		QZB-110	—	1	—	—	—	—
		QZB-132	—	—	1	—	—	—
		QZB-160	—	—	—	1	—	—
		QZB-180	—	—	—	—	1	—
		QZB-200	—	—	—	—	—	1
热继电器	FR	JR16-20/3D	1	1	1	1	1	1
时间继电器	KT	ST3PC-B 线圈电压 220V(配基座)	1	1	1	1	1	1
电流继电器	KA	JL14-01JG2. 5A	1	1	1	1	1	1
中间继电器	KA1、KA2	HH54P220V(配基座)	2	2	2	2	2	2
熔断器	FU1	RT14(含熔体 2A)	1	1	1	1	1	1
控制按钮	1SB1、1SB2、1SB3	LAY3-11 红色	1	1	1	1	1	1
		LAY3-11 绿色	1	1	1	1	1	1
		LAY3-11 黄色	1	1	1	1	1	1
指示灯	HR、HG、HY	AD11-25 红色 220V	1	1	1	1	1	1
		AD11-25 绿色 220V	1	1	1	1	1	1
		AD11-25 黄色 220V	1	1	1	1	1	1
电流表	A	6L2(电流范围由电流互感器决定)	1	1	1	1	1	1
电流互感器	TA1、TA2	LMZJ-0. 5(见表 5-13)	2	2	2	2	2	2
接线端子	XT	JH2-2. 5	3	3	3	3	3	3

5. 电动机自耦变压器减压起动控制电路（五）

电动机自耦变压器减压起动控制电路（五）如图 3-39 所示。图示电路适用于电压 380V、电动机功率不超过 200kW 的交流电动机作不频繁自耦减压起动。控制电路具有短路、过载、失电压保护。

起动至全压运行由电流继电器和时间继电器自动控制，当起动电流下降到 1. 5 倍额定电流时，即相当于 80% 额定转速时，电动机由起动转换到运行状态。电流继电器和时间继电器的整定值见表 3-12。

图 3-39 所示电路允许连续从冷状态起动 2 次，每次时间 15s，间隔时间 30s。具有自动和手动控制两种方式，在手动方式，可以两地控制，具有外部控制端子，在图 3-39 中

2SB1、2SB2为外部控制按钮，可以控制电动机的起动及停机，如果不需要外部按钮控制，可直接在接线端子处将2SB1按钮的两端短接。在自动方式时，可以由来自外部PLC、传感器等设备的一个无源触头直接控制电动机的起动和停止。

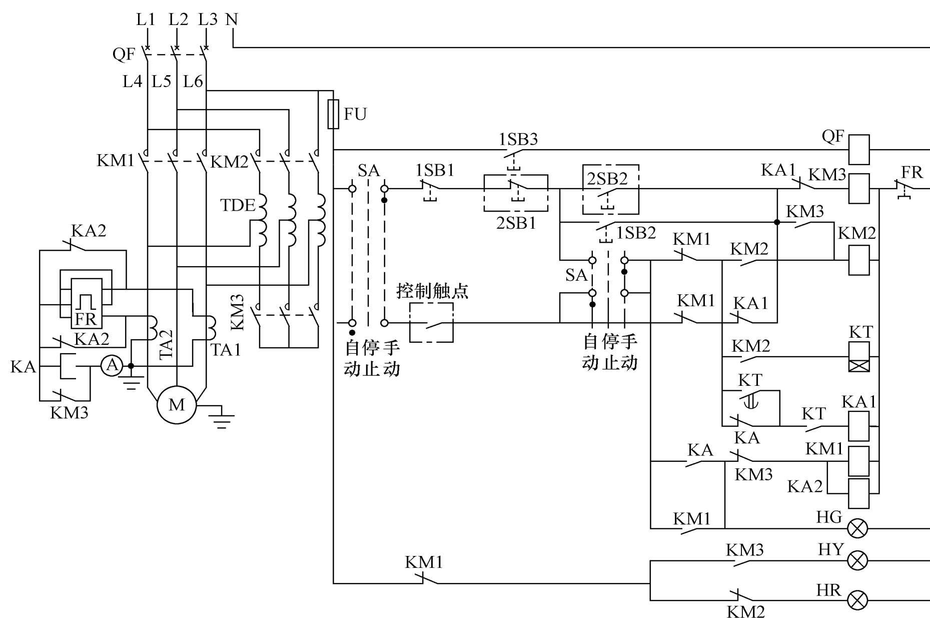


图3-39　电动机自耦变压器减压起动控制电路（五）

表3-12　保护继电器整定值

电动机功率/kW	90	110	132	160	180	200
电动机额定电流/A	167	207	248	300	330	367
时间继电器最大整定值/s	40	40	40	40	40	40
电流继电器整定电流值/A	4.2	5.2	4.7	4.5	4.2	4.6
热继电器整定电流值/A	2.8	3.5	3.1	3.8	3.3	3.1
断路器电磁跳闸线圈(A)	180	225	250	315	350	400
电流互感器电流比	300/5	300/5	400/5	500/5	600/5	600/5

注：1. 电流继电器整定值（A）=（电动机额定电流×1.5）/电流互感器电流比。
　　2. 热继电器整定电流值（A）= 电动机额定电流/电流互感器电流比。

图3-39所示的电动机自耦减压起动控制电路（五）中的主要元件见表3-13。

表3-13　主要元件表

名　称	符　号	规格型号	数　量					
			90kW	110kW	132kW	160kW	180kW	200kW
断路器	QF	DZ20Y-200/3310 DZ20Y-400/3310	1 —	— 1	— 1	— 1	— 1	— 1

（续）

名　　称	符　　号	规 格 型 号	数　　量					
			90kW	110kW	132kW	160kW	180kW	200kW
接触器	KM1、KM2、KM3	CJ20-63 线圈电压 220V CJ20-100 线圈电压 220V CJ20-160 线圈电压 220V CJ20-250 线圈电压 220V CJ20-400 线圈电压 220V	1 — 1 1 —	1 — 1 1 —	— 1 — 1 1	— 1 — 1 1	— 1 — 1 1	— 1 — 1 1
自耦变压器	TDE	QZB-90 QZB-110 QZB-132 QZB-160 QZB-180 QZB-200	1 — — — — —	— 1 — — — —	— — 1 — — —	— — — 1 — —	— — — — 1 —	— — — — — 1
热继电器	FR	JR16-20/3D	1	1	1	1	1	1
时间继电器	KT	ST3PC-B 线圈电压 220V（配基座）	1	1	1	1	1	1
电流继电器	KA	JL14-01JG2.5A	1	1	1	1	1	1
中间继电器	KA1、KA2	HH54P220V（配基座）	2	2	2	2	2	2
熔断器	FU	RT14（含熔体 2A）	1	1	1	1	1	1
控制按钮	1SB1、1SB2、1SB3	LAY3-11 红色 LAY3-11 绿色 LAY3-11 黄色	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1
转换开关	SA	LW5-15D0414/2	1	1	1	1	1	1
指示灯	HR、HG、HY	AD11-25 红色 220V AD11-25 绿色 220V AD11-25 黄色 220V	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1
电流表	A	6L2（电流范围由电流互感器决定）	1	1	1	1	1	1
电流互感器	TA1、TA2	LMZJ-0.5（见表 5-15）	2	2	2	2	2	2
接线端子	XT	JH2-2.5	5	5	5	5	5	5

6. 电动机自耦变压器减压起动控制电路（六）

电动机自耦变压器减压起动控制电路（六）如图 3-40 所示。图中，时间继电器完成由起动到运行的转换过程，不会造成起动时间的长短不一的情况，也不会因起动时间长造成烧毁自耦变压器事故。电路工作过程如下：

合上断路器 QF 接通三相电源，按起动按钮 SB2，交流接触器 KM1 线圈通电吸合并自锁，其主触头闭合，将自耦变压器线圈接成丫联结，与此同时由于 KM1 辅助常开触头闭合，使得接触器 KM2 线圈通电吸合，KM2 的主触头闭合，由自耦变压器的低压压抽头（例如 65%）将为电源电压 65% 的三相电压接入电动机。

由于 KM1 辅助常开触头闭合，使时间继电器 KT 线圈通电，并按已整定好的时间开始计时，当时间到达后，KT 的延时常开触头闭合，使中间继电器 KA 线圈通电吸合并自锁。

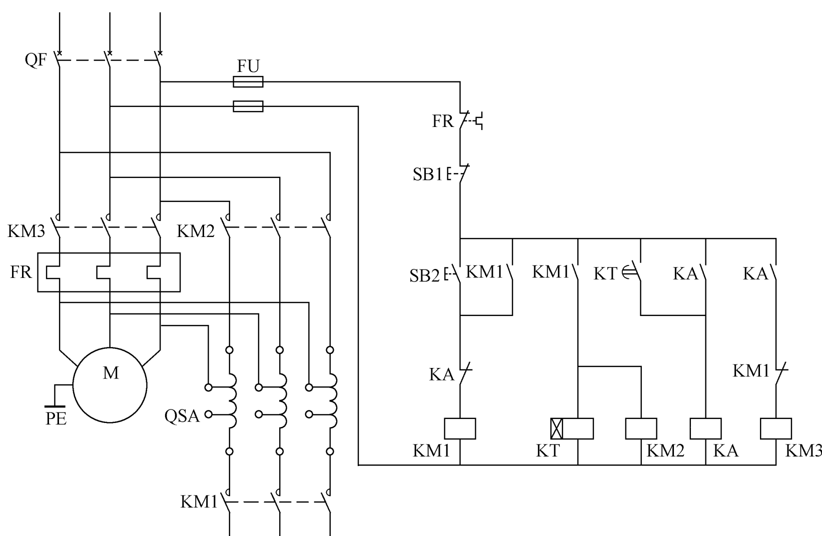


图 3-40　电动机自耦变压器减压起动控制电路（六）

由于 KA 线圈通电，其常闭触头断开，使 KM1 线圈断电，KM1 常开触头全部释放，主触头断开，使自耦变压器线圈封星端打开；同时 KM2 线圈断电，其主触头断开，切断自耦变压器电源。KA 的常闭触头闭合，通过 KM1 已经复位的常闭触头，使 KM3 线圈得电吸合，KM3 主触头闭合，电动机在全压下运行。

KM1 的常开触头断开也使时间继电器 KT 线圈断电，其延时闭合触头释放，也保证了在电动机起动任务完成后，使时间继电器 KT 可处于断电状态。

欲停车时，可按按钮 SB1，则控制回路全部断电，KM3 线圈失电，因 KM3 主触头切除电动机电源而停转。热继电器 FR 作为电动机的过载保护。

按图 3-40 所示电路图接线完毕后，在检查无误后，可进行空载试验，其方法是：拆下热继电器 FR 与电动机端子的连接线，接通电源，按下按钮 SB2，KM1 与 KM2 动作吸合，KM3 与 KA 不动作。时间继电器的整定时间到，KM1 和 KM2 释放，KA 和 KM3 动作吸合切换正常，反复试验几次检查电路的可靠性。

在经空载试验无误后，恢复与电动机的接线。再带电动机试验中应注意起动与运行的切换过程，注意电动机的声音及电流的变化，电动机起动是否困难有无异常情况，如有异常情况应立即停车处理。

再次起动；自耦减压起动电路不能频繁操作，如果起动不成功的话，第二次起动应间隔 4min 以上，如在 60s 连续两次起动后，应停电 4h 再次起动运行，这是为了防止自耦变压器绕组因起动电流太大而发热损坏自耦变压器的绝缘。

7. 电动机自耦变压器减压起动控制电路（七）

对容量较大的 220/380V △/丫型笼型异步电动机不能用丫/△方法起动时，可用自耦变压器减压起动控制电路，如图 3-41a 所示。按下操作按钮 SB1，KM1、KM2、SJ 吸合，进行减压起动，在时间继电器达到设定的时间（电动机达到额定转速后），时间继电器 SJ 动作，KM1、KM2 失电，KM3 得电，电动机在全压下正常运转。按下 SB2 停止按钮，电动机便失

电停转。

图 3-41b 所示电路是一种自耦变压器与时间继电器起动控制电路。工作时按下起动按钮 SB1，电动机减压起动。待电动机起动完毕，通过时间继电器能自动转换为全压运行。电路加有指示灯电路，用于指示整个起动过程工作状态情况。

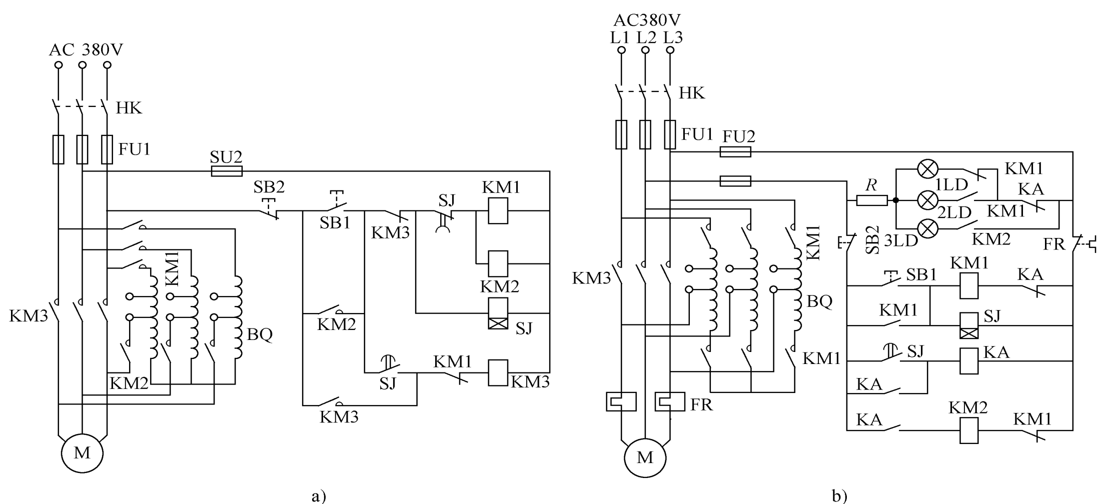


图 3-41　电动机自耦变压器减压起动控制电路（七）

8. 电动机自耦变压器减压起动控制电路（八）

自耦减压起动是利用自耦变压器降低电动机端电压的起动方法，自耦变压器一般由两组抽头可以得到不同的输出电压（一般为电源电压的 80% 和 65%），起动时使自耦变压器中的一组抽头（例如：65%）接在电动机的主电路中，当电动机的转速接近额定转速时，将自耦变压器切除，使电动机直接接在三相电源上进入全压运行。电动机自耦变压器减压起动控制电路（八）如图 3-42 所示。电路的工作过程如下：

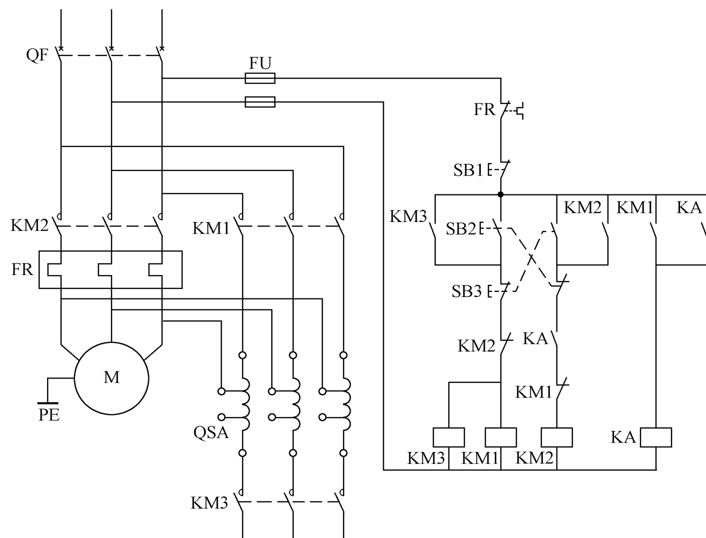


图 3-42　电动机自耦变压器减压起动控制电路（八）

合上断路器QF接通电源，按下起动按钮SB2，交流接触器KM3线圈回路通电，主触头闭合，自耦变压器接成星形。KM1线圈通电，其主触头闭合，由自耦变压器的65%抽头端将电源接入电动机，电动机在低电压下起动。

KM1常开辅助触头闭合，接通中间继电器KA的线圈回路，KA通电并自锁KA的常开触头闭合，为KM2线圈回路通电做准备。

当电动机转速接近额定转速时，松开按钮SB2，按下按钮SB3，KM1、KM3线圈断电将自耦变压器切除，KM2线圈得电并自锁，将电源直接接入电动机，电动机在全压下运行。

电动机运行中的过载保护由热继电器FR完成，电路的互锁环节有：

接触器互锁：KM2常闭触头接入KM3、KM1线圈回路，KM1常闭触头接入KM2线圈回路。

按钮互锁：按钮SB2常开触头接入KM3、KM1线圈回路，按钮SB2常闭触头接入KM2线圈回路，按钮SB3常开触头接入KM2线圈回路，按钮SB3常闭触头接入KM3、KM1线圈回路。

在按图3-42接线完成后，应进行空载试验，其方法是：拆下热继电器FR与电动机端子的连接线，接通电源，按下SB2起动按钮，KM1与KM3动作吸合，KM2与KA不动作。再按下SB3运行按钮，KM1和KM3释放，KA和KM2动作吸合，切换正常，反复试验几次检查电路的可靠性。

实例15　绕线转子异步电动机转子回路串电阻起动控制电路

绕线转子异步电动机转子绕组串电阻起动按钮操作的控制电路如图3-43所示。电路工作原理：合上电源开关QS，按下SB1，KM得电吸合并自锁，电动机串全部电阻起动，经一定时间后，按下按钮SB2，KM1得电吸合并自锁，KM1主触头闭合切除第一级电阻R1，电动机转速继续升高，经一定时间后，按下SB3，KM2得电吸合并自锁，KM2主触头闭合切除第二级电阻R2，电动机转速继续升高，当电动机转速接近额定转速时，按下SB4，KM3得电吸合并自锁，KM3主触头闭合切除全部电阻，起动结束，电动机在额定转速下正常运行。

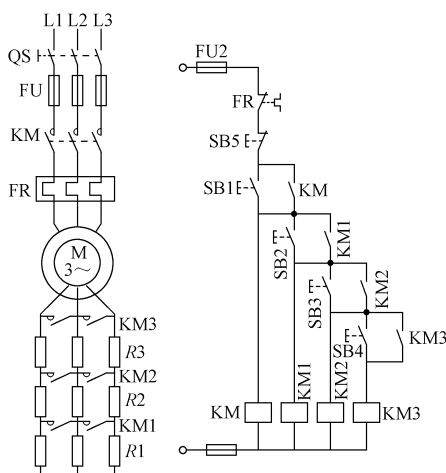


图3-43　绕线转子异步电动机转子串电阻起动按钮控制电路

绕线转子异步电动机串电阻起动时间控制电路如图3-44所示。电路中三个时间继电器KT1、KT2、KT3分别控制三个接触器KM1、KM2、KM3按顺序依次吸合，自动切除转子绕组中的三级电阻，与起动按钮SB1串接的KM1、KM2、KM3三个常闭触头的作用是保证电动机在转子绕组中接入全部起动电阻的条件下才能起动。若其中任何一个接触器的主触头因熔焊或机械故障而没有释放时，电动机就不能起动。

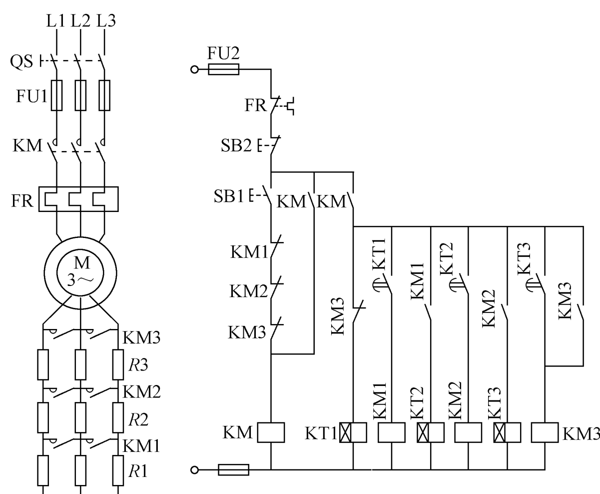


图 3-44　绕线转子异步电动机转子串电阻起动时间控制电路

实例 16　绕线转子异步电动机转子回路串频敏变阻器起动控制电路

1. 绕线转子异步电动机转子回路串频敏变阻器起动控制电路（一）

绕线转子异步电动机转子回路串频敏变阻器起动电路如图 3-45 所示。频敏变阻器实际上是一个特殊的三相铁心电抗器，它有一个三柱铁心，每个柱上有一个绕组，三相绕组一般接成丫联结。频敏变阻器的阻抗随着电流频率的变化而有明显的变化，电流频率高时，阻抗值也高，电流频率低时，阻抗值也低。频敏变阻器的这一频率特性非常适合于控制异步电动机的起动过程。起动时，转子电流频率 f_z 最大，R_f 与 X_d 也最大，电动机可以获得较大起动转矩。起动后，随着转速的提高，转子电流频率逐渐降低，R_f 和 X_f 也自动减小，所以电动

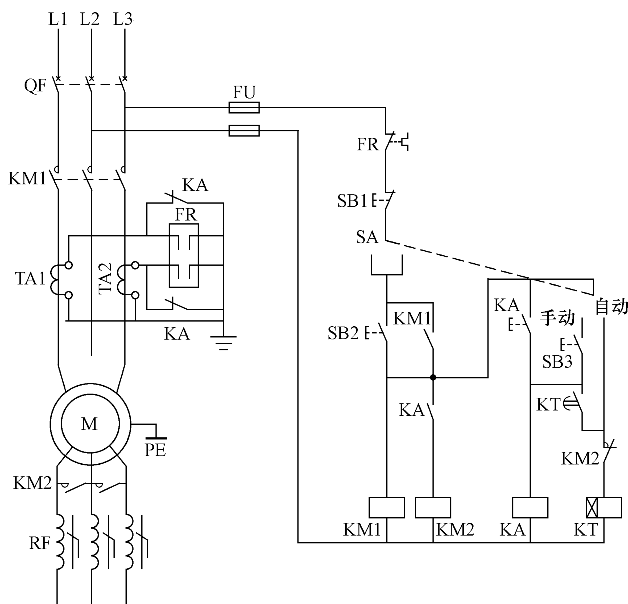


图 3-45　绕线转子异步电动机转子回路串频敏变阻器起动控制电路

机可以近似地得到恒转矩特性，实现了电动机的无级起动。起动完毕后，频敏变阻器应短路切除。电路的起动过程可分为自动控制和手动控制，由转换开关SA完成。

（1）自动控制

①合上断路器QF，接通三相电源。

②将SA板向自动位置，按下按钮SB2，交流接触器KM1线圈得电并自锁，主触头闭合，电动机定子接入三相电源开始起动（此时频敏变阻器串入转子回路）。

③此时时间继电器KT也通电并开始计时，达到整定时间后，KT的延时闭合的常开触头闭合，接通了中间继电器KA线圈回路，KA的常开触头闭合，使接触器KM2线圈回路得电，KM2的常开触头闭合，将频敏变阻器短路切除，起动过程结束。

④若电动机容量大，电路过载保护的热继电器接在电流互感器二次侧，可提高热继电器的灵敏度和可靠性。

⑤另外，在起动期间，中间继电器KA的常闭触头将继电器的热元件短接，是为了防止起动电流大引起热元件误动作。在进入运行期间KA常闭触头断开，热元件接入电流互感器二次回路进行过载保护。

（2）手动控制

①合上断路器QF，接通三相电源。

②将SA搬至手动位置。

③按下起动按钮SB2，接触器KM1线圈得电，吸合并自锁，主触头闭合，电动机串频敏变阻器起动。

④待转速接近额定转速或观察电流表接近额定电流时，按下按钮SB3，中间继电器KA线圈得电吸合并自锁，KA的常开触头闭合，接通KM2线圈回路，KM2的常开触头闭合，将频敏变阻器短路切除。

⑤KA的常闭触头断开，将热元件接入电流互感器二次回路进行过载保护。

2. 绕线转子异步电动机转子回路串频敏变阻器起动电路（二）

频敏变阻器是绕线转子异步电动机常用的一种起动装置，由于它结构简单，造价低廉，运行可靠，便于维护，起动平稳，机械冲击力小且具有恒转矩起动等优点，所以在工矿企业得以广泛应用。

频敏电阻是一种等值阻抗随着电流频率改变的电磁元件，在电动机起动过程中，由于频敏电阻的等值阻抗随电动机转子电流频率下降而减小，从而实现频敏电阻的自动变阻抗。所以只用一级频敏电阻器就可以实现绕线转子异步电动机的平稳起动。频敏电阻器实质上是一个铁心损耗非常大的三相电抗器，它由铁心和线圈两个部分构成，铁心部分采用数片E形钢板叠成，线圈采用丫联结。频敏电阻器可作成多级，以实现不同机械设备对电动机起动性能的要求，频敏电阻器是串入电动机转子绕组回路工作的，若频敏电阻器在电动机起动过程中若发生下列现象，应调整频敏电阻器的线圈的匝数和气隙。

①电动机起动电流过大、起动过程太快时，应增加频敏电阻器线圈的匝数，可调换线圈抽头。但频敏电阻器线圈匝数的增加，使电动机起动电流减少，将导致电动机起动转矩减小。

②起动电流过小，起动转矩不够，使电动机起动过程长，即起动速度慢，此时应减少频敏电阻器线圈的匝数，以增加电动机的起动电流。

③在电动机刚起动时，起动转矩过大，对机械设备造成较大的冲击，但起动完成后电动机稳速运行时转速太低时，可增加频敏电阻器气隙使起动电流略增，起动转矩略减，但电动机起动结束后转矩增大，可提高电动机运行时的转速。

图 3-46 为 1 台频敏变阻器起动 4 台电动机的主电路图，当某 1 台电动机起动时，应首先使其转子回路与频敏变阻器相连接，再将定子回路接于电源，电动机转子串入频敏变阻器起动，控制电路应保证在任何情况下都不应有直接起动的可能性。电动机起动完毕后，控制电路先将转子回路短接，再将频敏变阻器切除断开。

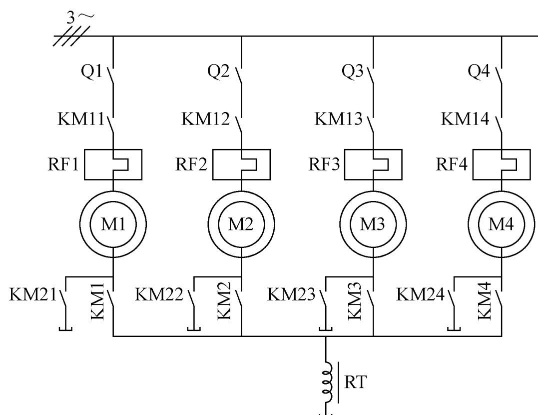


图 3-46　主电路

在图 3-46 所示的主电路图中，Q1 ~ Q4 为各台电动机的电源开关，KM1 ~ KM4 为各台电动机接入频敏变阻器 RT 的接触器。KM11 ~ KM14 为各台电动机定子绕组与电源相连的接触器，KM21 ~ KM24 用于各台电动机起动后将转子绕组短接，旁路频敏电阻器的接触器。

1 台频敏变阻器起动 4 台电动机的控制电路如图 3-47 所示。在图 3-47 所示的控制电路中，SB1 ~ SB4 及 KM1 ~ KM4 组成起动互锁电路，SB11 ~ SB14 和时间继电器 KT1 ~ KT4 组成起动和延时转换电路。

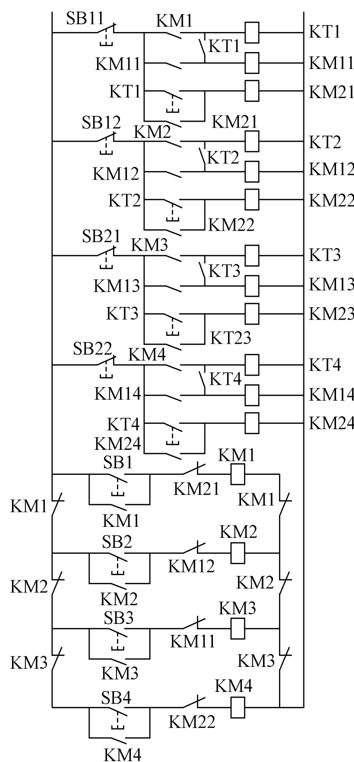


图 3-47　控制电路

电动机 M1 的起动过程：按下起动按钮 SB1，接触器 KM1 线圈得电，接触器 KM1 常开辅助触头自锁，KM1 常闭辅助触头分断接触器 KM2 ~ KM4 线圈电路，保证了电动机 M1 在起动时其他电动机不能同时起动。接触器 KM1 主触头闭合，将频敏电阻器串入电动机 M1 转子绕组，同时时间继电器 KT1 线圈得电，时间继电器瞬动触头闭合并开始计时，接触器 KM11 线圈得电，KM11 主触头闭合，电动机 M1 的转子串入频敏电阻器进入起动阶段，KM11 常开辅助触头自锁。待时间继电器 KT1 计时到达设定时间，时间继电器延时常开触头闭合，接触器 KM21 线圈得电，KM21 主触头旁路串入电动机转子回路的频敏电阻器，同时 KM21 常开辅助触头自锁，KM21 常闭辅助触头分断接触器 KM1 线圈电路，接触器 KM1 主触头分断，频敏电阻器从电动机 M1 转子回路解除。同时 KM1 常开辅助触头分断时间继电器 KT1 线圈电路。电动机 M1 起动过程结束。接触器 KM1

常闭触头闭合，为接触器 KM2～KM4 线圈得电做好准备。

电动机 M1 需要停止时，按下停止按钮 SB11，接触器 KM11 和 KM21 线圈同时失电，KM11、KM21 主触头分断电动机 M1 定子电源，电动机 M1 停止运行。

电动机 M2～M4 的起动过程与电动机 M1 起动过程类似，图 3-47 所示控制电路在正常操作时和故障时都可避免电动机有直接起动，并可避免多台电动机同时起动和电动机转子串入频敏电阻器长期运行。

3. 电动机转子绕组串接频敏变阻器的起动控制电路（三）

（1）频敏变阻器在转子电路中的接法

频敏变阻器在转子电路中的接法有四种，如图 3-48 所示：图中，以单组接法最为常见，主要用在较小功率的电动机上，其余三种接法则用于功率较大的电动机。

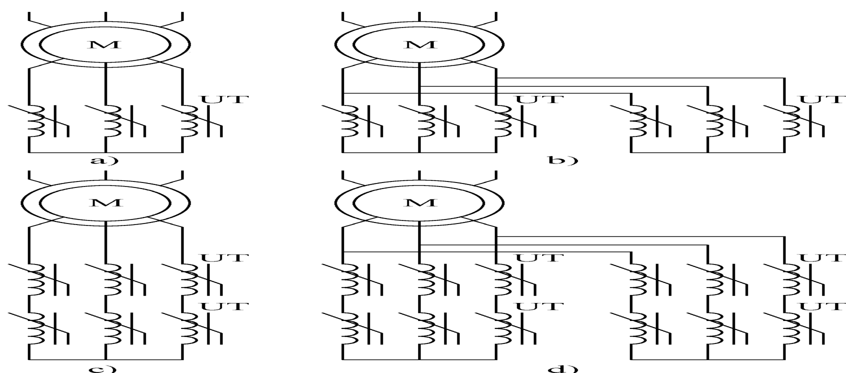


图 3-48 频敏变阻器在转子电路中的接法

a）单组接线 b）两组并联接线 c）两组串联接线 d）两串两并接线

（2）用频敏变阻器起动绕线转子异步电动机的控制电路

绕线转子异步电动机频敏变阻器起动控制电路如图 3-49 所示。图中，转换开关 SA 用来进行手动控制与自动控制的选择。接触器 KM1 为定子绕组电源通断开关，KM2 用于起动过程结束后短接切除频敏变阻器 UT。中间继电器 KA 的常闭触头短接热元件 FR，是为了热继电器 FR 躲开起动期间的大电流，通电延时型时间继电器 KT 在此起自动短接切除频敏变阻器的控制作用。

采用自动控制方式时，将转换开关 SA 拨至自动位置，然后按起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈获电吸合并自锁，其主触头闭合，使电动机接通电源起动。此时转子回路中的频敏变阻器阻抗最大，所以起动电流最小。与此同时，时间继电器 KT 线圈获电，经过整定时间后，KT 的延时常开触头闭合，中间继电器 KA 线圈获电吸合并自锁，其常开触头闭合，使 KM2 获电吸合，KM2 主触头闭合，将转子上的 3 个集电环短接，起动过程结束。在起动过程中，中间继电器 KA 未获电，其常闭触头将热继电器 FR 热元件短路，以免起动时的大电流通过热继电器 FR 的热元件，而使其误动作。起动结束后，中间继电器 KA 获电，其常闭触头断开，使热元件串入电流互感器的二次回路中，以使热继电器正常工作。

（3）频敏变阻器的调整

频敏变阻器上备有 4 个抽头，其中一个抽头在绕组的背面，标号为 N，另外 3 个抽头在绕组的正面，抽头 1-N 之间为 100% 匝数；2-N 之间为 85% 匝数；3-N 之间为 71% 匝数，出厂时一般接在 2-N 抽头上，即：85% 匝数。

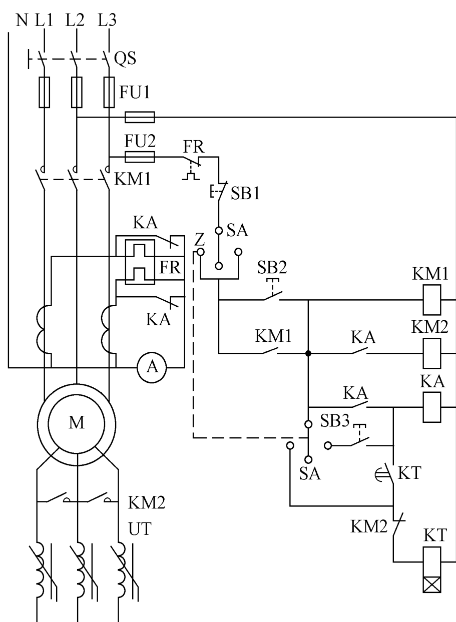


图 3-49　绕线转子异步电动机频敏变阻器起动控制电路

频敏电阻器上下铁心由两面 4 个拉紧螺栓固定，拧开拉紧螺栓上的螺母，可以在上、下铁心之间增减非磁性垫片，即可调整空气隙。出厂时，上、下铁心间气隙为零。如在使用中遇到下列情况，应调整频敏变阻器的匝数和气隙。

①当起动电流过大：起动过快时应增加匝数，换接抽头。匝数增加，使起动电流减少，但起动转矩也同时减少。

②当起动电流过小：起动转矩过小，起动太慢时，应减少匝数，使起动电流增大，起动转矩也同时增大。

③如果刚起动时，起动转矩过大，有冲击现象；起动完毕后，稳定转速又偏低：这时可在上、下铁心间增加气隙，使起动电流有所增加，起动转矩稍有减小，但起动完毕时，转矩有所增加，可以提高稳定转速。

实例 17　用凸轮控制器控制绕线转子异步电动机控制电路

绕线转子异步电动机的起动、调速及正反转控制电路经常采用凸轮控制器来实现，尤其对一些容量不太大的绕线转子异步电动机，用得更多，因为它运行可靠，维修方便。一些小型卷扬机及桥式起重机上大部分都采用这种控制电路。绕线转子异步电动机用凸轮控制器的控制电路如图 3-50 所示。

在图 3-50 中，M 是小容量绕线转子异步电动机，*R* 是起动用电阻器，QS 是转换开关，FU1、FU2 分别是保护主电路和控制电路的短路保护熔断器；GL 是过电流继电器，作为电动机过载保护用；SQ1、SQ2 分别是正转和反转的限位保护开关；TL 为凸轮控制器。

电动机欲工作时，闭合 QS，将手柄转至“0”位置，这时最下边的三副触头 SA5～SA7 闭合，为控制电路接通做好准备。按动起动按钮 SB2，接触器 KM 线圈获电工作，其主触头闭合，接通电源，为电动机起动做好准备，其常开触头 KM 闭合自锁。然后将手柄扳至正转

“1”位置，这时触头 SA1、SA3、SA5 闭合，控制电路接通，电动机与三相电源接通，电动机正转起动。此时电动机转子绕组接入了全部电阻 *R*，所以起动电流较小，起动转矩也较小，此时，如果电动机的负载很重，则不能起动，但可以起到消除传动齿轮间隙的作用。当手柄板至正转“2”位置时，SA1、SA3、SA5 和 XZ1 闭合，使电阻器 *R* 上的第一级电阻被短接，电动机转速加快。同样道理，当手柄扳至“3”，“4”位置时，触头 XZ2 和 XZ3 先后闭合，使电阻器 *R* 的两级电阻相继不对称短接，电动机继续加速，当手柄扳至“5”位置时，XZ1 ~ XZ5 五副触头全部闭合，电阻器 *R* 全部电阻被短接切除，电动机起动完毕，全速运转。

当手柄扳到反转的“1-5”位置时，SA2 和 SA4 触头闭合，三相电源的相序改变，电动机反向旋转，这时触头 SA7 闭合，控制电路仍然接通，接触器 KM 继续获电工作。凸轮控制器反向起动切换电阻的动作原理与正转类同。

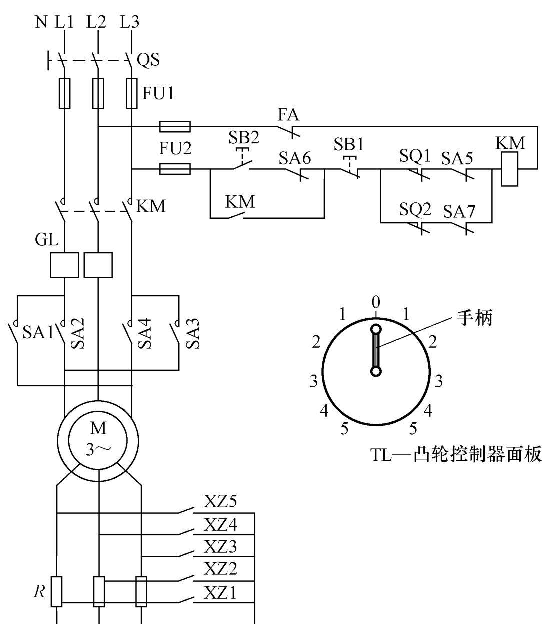


图 3-50　绕线转子异步电动机用凸轮控制器的控制电路

凸轮控制器最下面的三副触头 SA5、SA6、SA7 只有当手柄扳到“0”位置时，才能全部闭合。而在其他各档位置均为只有一副闭合，而其余两副断开，该三副触头在控制电路中作这样的位置安排，可以保证手柄必须处在“0”位时，三副触头全部闭合之后，再按起动 SB2，才能使接触器 KM 线圈获电工作，而达到逐级起动的目地，而其余位置，均不能使 KM 线圈获电。这样可避免电动机直接起动，突然快速运转，产生不良影响。

实例 18　绕线转子异步电动机起动和调速控制电路

绕线转子异步电动机的特点是它的转子上绕有绕组，并且通过转子上的集电环在转子绕组中串接附加的电抗。当转子回路中的电抗改变时，电动机的力矩特性将改变，适当地调节转子回路中的电阻，可以得到理想的起动状态。用绕线转子异步电动机可以得到很大的起动转矩，同时起动时的电流也减少很多。所以在对起动转矩、调速特性要求较高的机械中（如卷扬机、桥式起重机等），常使用绕线转子异步电动机。绕线转子异步电动机的缺点是：电动机比较复杂、造价也高、耐用性能较差、效率也稍低。绕线转子异步电动机的起动方法有如下三种：

①转子绕组串接电阻；

②转子绕组串接频敏变阻器；

③用凸轮控制器。

转子绕组串接电阻控制电路又分为按钮、时间继电器、电流继电器三种不同的控制电路。

1. 用按钮的控制电路

用按钮控制的电路如图 3-51 所示。图中，KM1、KM2、KM3、KM4 4 个接触器除 KM1 作接通电源用外，其余 3 个均是短路转子回路中的起动电阻用的。SB1 为停止按钮；SB2 为起动按钮；SB3、SB4、SB5 均为切除电阻用的按钮。

起动电动机时，按下 SB2，KM1 获电吸合并自锁，电动机转子绕组内串入 *R*1、*R*2、*R*3 全部电阻起动。按下 SB3，KM2 获电吸合并自锁，其主触头 KM2 闭合，短路 *R*1，电动机加速运转；同理，按 SB4、SB5 分别短路 *R*2 及 *R*3，电动机一级、一级加速运转。并且当 KM3 闭合时，其常闭触头 KM3 切断 KM2 的线圈回路；KM4 闭合时，其常闭触头 KM4 切断 KM3、（包括 KM2）的线圈回路。当电动机全速运转时，只有 KM1、KM4 两个接触器获电工作，其余均断开。

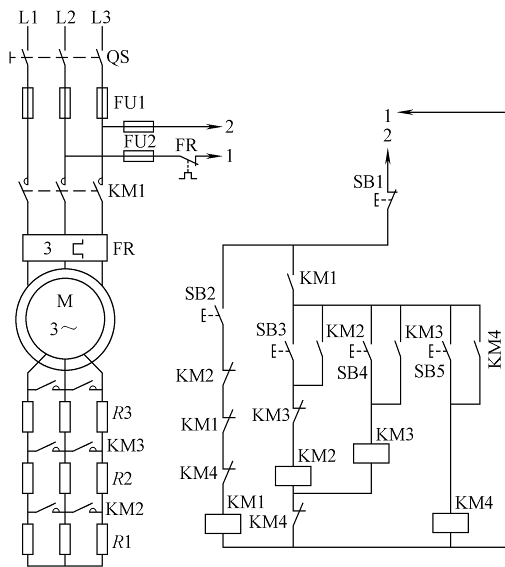


图 3-51　按钮开关控制绕线转子电动机的控制电路

接触器 KM2、KM3、KM4 的常闭触头串联在 KM1 线圈回路中的作用是，保证电动机在转子回路中电阻全部加入的条件下才能起动。当 KM2、KM3、KM4 的任一个常闭触头因熔焊或其他原因没有恢复闭合时，KM1 线圈因无通路而不能获电，这样电动机也就不能获电起动。

2. 用时间继电器控制绕线转子异步电动机的控制电路

用时间继电器控制绕线转子异步电动机的控制电路如图 3-52 所示。（与图 3-51 的主电路相同）图中控制电路是由 3 个通电延时型时间继电器 KT1、KT2、KT3 和三只接触器 KM2、KM3、KM4 相互配合来实现转子回路的三段起动电阻 *R*1、*R*2、*R*3 的短接。在此，时间继电器的 3 个延时闭合的常开触头的作用相当于图 3-51 所示电路中的 3 个按钮 SB3、SB4、SB5。

工作时，按起动按钮 SB2，接触器 KM1 获电吸合并自锁，KM1 主触头闭合，电动机定子绕组接通电源，转子绕组串接全部电阻起动。KM1 获电的同时，时间继电器 KT1 也获电，经过预先整定的时间后，时间继电器的延时常开触头 KT1 闭合，接通接触器 KM2 线圈回路，使接触器 KM2 获电吸合，转子回路中的两副主触头 KM2 闭合，短接第一级起动电阻 *R*1，接触器 KM2 吸合后，其常开触头 KM2 又接通时间继电器 KT2 的线圈回路，使 KT2 获电。经过 KT2 预先整定的时间后，时间继电器 KT2 的延时常开触头闭合，接通线圈 KM3 回路，使接触器 KM3 在转子回路中的主触头闭合，短接第二级起动电阻 *R*2。

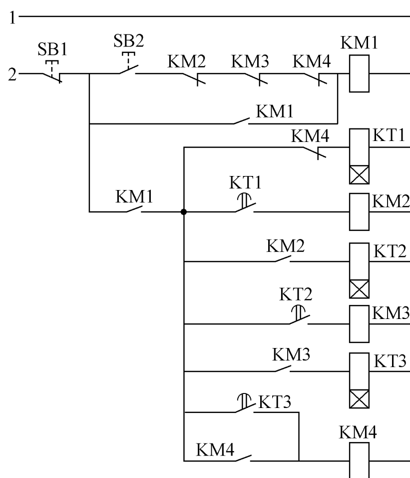


图 3-52　时间继电器控制绕线转子异步电动机的控制电路

同时接触器KM3的常开触头KM3闭合，使时间继电器KT3线圈获电。经过KT3的预先整定时间后，时间继电器KT3延时常开触头闭合，使KM4线圈获电，其两副在转子回路中的主触头闭合，短接第三级起动电阻$R3$。同时KM4的自锁触头闭合自锁，KM4常闭触头断开，使KT1失电释放，KT1的常开触头瞬间断开，使KM2、KT2、KM3、KT3依次断电释放，恢复原位。只有KM1与KM4因它们具有自锁功能保持在工作状态。电动机的起动过程结束，进行正常运转。接触器KM2、KM3、KM4常闭触头的作用与图3-51相同。

3. 用电流继电器自动控制绕线转子异步电动机的控制电路

用电流继电器自动控制绕线转子异步电动机的控制电路如图3-53b所示。在图3-53b所示的控制电路中，转子电路如图3-53a所示。主电路的其余部分与图3-51中的主电路完全相同。

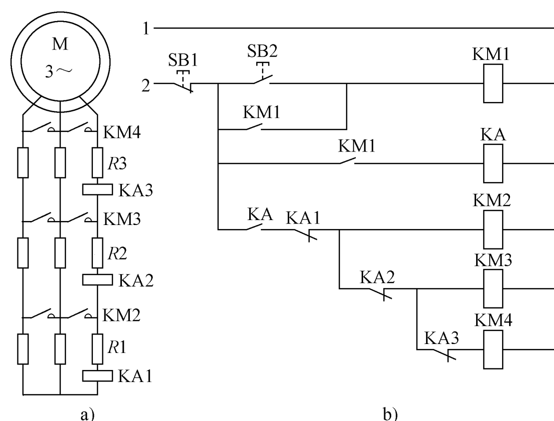


图3-53 绕线转子异步电动机电流继电器自动控制电路

图3-53控制电路是根据电动机转子回路电流的变化，利用电流继电器KA来控制起动电阻的短接。KA1、KA2、KA3电流继电器的线圈都串联在转子电路中。电流继电器触头的动作取决于通过线圈电流的大小。这3个电流继电器的吸合电流都相同，但是它们的释放电流不同。其中KA1的释放电流最大，KA2次之，KA3最小。电动机刚起动时因电流很大，它们接在控制电路中的常闭触头均断开，这时接触器KM4、KM2、KM3、的线圈回路都被切断，不工作，它们接在转子电路中的主触头都处于断开状态，使转子回路的电阻$R1$、$R2$、$R3$都接入。随着电动机转速的升高，转子电流逐渐减少，电流继电器KA1首先释放，它的常闭触头恢复闭合，使接触器KM2获电吸合，其主触头闭合，把第一级电阻$R1$短接切除；当$R1$被切除后，转子电流因电阻的减少而重新增大，但当电动机转速继续上升时，转子电流又会减少，使电流继电器KA2释放，其常闭触头KA2也恢复闭合，使KM3获电吸合，其主触头KM3闭合，把第二级电阻$R2$短接切除，如此继续下去，直至全部电阻都短接切除，电动机起动完毕，进入正常运转。

中间继电器KA的作用是为KM2、KM3、KM4线圈提供通路，而且保证起动开始时，全部电阻都接入转子电路。因为只有中间继电器KA获电，且KA的常开触头闭合后，才能为电流继电器KA1、KA2、KA3的常闭触头提供通路，然后才能逐级短路切除电阻，这样就保证了电动机在串入全部电阻条件下起动。

第 4 章　电动机软起动及调速电路

实例 1　WITR 系列软起动器应用电路

WITR 系列软起动器采用数字化技术，无脉冲变压器及电源变压器，控制板功耗小，可以进行环氧树脂封装，提高其绝缘等级，防止粉尘进入。集成为一体化的控制板就像一个集成块，具有高的可靠性。

WITR 系列软起动器主回路采用大功率晶闸管模块，结构紧凑、可靠性高。控制单元采用的 CPU 为哈佛总线结构，系统程序一次性写入存储器，不能再更改程序内容和数据，控制指令传送可靠，抗干扰性更强。

1. WITR 系列软起动器特性

①WITR 系列软起动器可长期带电运行，利用其控制端子起动、停止电动机，WITR 系列软起动器的控制端子采用无源电平信号输入，更方便灵活的与 PLC 及计算机组成现代自动化控制系统，同时无源电平信号输入更容易与触摸控制面板相连接，使软起动器与其他控制元件更容易连接构成完善的自动控制系统。

②WITR 系列软起动器采用旁路运行方式（非在线型），使其构成的控制系统更灵活和有更高的可靠性。

③WITR 系列软起动器环境适应性强，由于采用旁路运行方式，功率器件发热时间短、热量小，可采用自然风冷，对使用环境无特殊要求。

④节约能源，提高功率器件寿命。由于采用旁路运行，功率器件通过电流时间短，仅软起、软停（十几秒钟）时软起动器工作，因此节约电能，延长功率器件使用寿命。

⑤WITR 系列软起动器的控制回路为集成一体化结构，主回路选用可靠性的功率器件，同时采用灵活、方便地控制端子，可实现最佳的运行方式。

WITR 系列软起动器是目前国内及国际最先进的智能型电动机起动设备，它采用现代最先进的数字集成技术，大大提高了各项技术性能指标，增强了可靠性及稳定性，极大地减小外形体积，使软起动器像其他元器件一样便于安装和维护。WITR 系列软起动器产品用于三相异步电动机的软起动、软停止、实时监测和保护。替代传统的 Y/△起动器和自耦减压起动器，具有起动性能好、无触头、节能和各种完善的保护功能。

①WITR1 软起动器为智能型软起动器，起动电压 U_s，起动时间 t_s，停机时间 t_p，通过软件设置存储器中，无须用户调整，安装后即可运行。WITR1 软起动器中根据拖动负载类型不同又划分为：V：电压控制式，A：电流控制式，N：网络式。

②WITR2 软起动器为可调型软起动器，起动电压 U_s，起动时间 t_s，停机时间 t_p，可根据负载特性通过面板自行调整。U_s 调整范围：30% ~75% 连续可调。t_s、t_p 调整范围：0. 5 ~60s 连续可调。WITR2 软起动器根据拖动负载类型不同划分为：V：电压控制式，A：电流控制式，N：网络式。

③WITR3 软起动器为数显型高档产品，起动电压、起动电流、起停时间数码设定，液

晶显示。其网络式产品具有与上位通信接口，且可通过因特网对电动机软起动器进行参数设定及控制。

2. WITR软起动器工作原理

WITR软起动器工作原理如图4-1所示。WITR软起动器采用最先进的工控微处理器和大功率晶闸管，微处理器根据设定的起动参数控制大功率晶闸管输出电压，其输出电压调节范围为0V至电动机的额定电压，在电动机起动过程中，以使电动机定子绕组电源端获得连续可调电压。WITR软起动器可通过软件编程实现电动机的限流起动，一方面减少因电动机起动转矩对电动机拖动机械设备的冲击，而延长机械设备的使用寿命，另一方面也减少电动机起动电流对电网冲击。

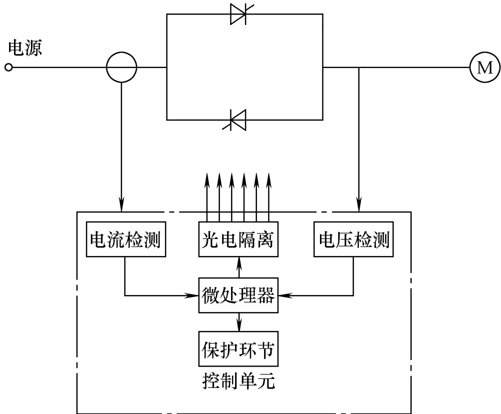


图4-1　WITR软起动器工作原理

3. WITR软起动器性能

①主电路采用大功率晶闸管模块，可增加软起动器的频繁起、停电动机次数，且无拉弧现象，延长起动设备使用寿命。

②采用工业级微处理器、光电隔离技术、数字滤波等全数字化控制技术，使可靠性、操作性、安全性大大提高，且电路简单、体积小。

③微处理器采用哈佛总线结构，存储器采用OTP（一次性编程，不可变），使该产品抗干扰性更强，稳定性更高，在恶劣工况环境下可正常工作。

④采用软件设置，使控制更灵活，功能更完善，可实现软起动、限流起动、软停机、自动旁路运行、一拖三功能。具有电动机缺相、过电流、过载保护。并可实现远程网络控制，适应各种控制系统要求。

⑤采用WITR软起动器实现一拖三控制，不需要外部复杂的逻辑电路，不需要外接PLC控制器，大大减小了起动柜的体积，提高了可靠性。

4. 电气参数与环境特性

WITR软起动器的电气参数与环境特性见表4-1。

表4-1　电气参数与环境特性

参　数	单　位	额　定　值
三相电源电压	V	380±10%
频率	Hz	50±2%
标称电流 I_N	A	15~500A共15种额定值
电动机功率	kW	5.5~250
额定绝缘电压 U_i	V	660
最大起动电流 I_h	A	2~7倍标称电流
控制电源	V	AC220

（续）

参　　数	单　　位	额　定　值
控制继电器接点容量		输入:内部电平,无需外部电源 输出:旁路控制及停车断开主电源接点,AC3802A;AC2205A。断相报警及运行信号输出 24V2A
起动方式		电压斜坡标准负载起动时间 10s,$3I_N$ 重载 15s,$3.5I_N$ 电流限制 1 ~4.5I_e
停止方式		软停车标准负载 10s,重载 15s 自由停车
显示方式		绿色指示灯软起动、软停车过程中闪烁,事故时闪烁频率加快
起动停止次数		每小时不宜超过 12 次
冷却方式		自然风冷
防护等级		IP20
抗震动		符合 GB3797 中 4.15
噪声	dB	≤40
工作温度	℃	－35 ~ ＋50℃
存贮温度	℃	－35 ~ ＋60℃
相对湿度		90%
最大工作高度	m	1000m 以内不降容。1000m 以上,每增加 100m 电流降低 0.5%

5. 起动与停止特性

WITR 软起动器的起动与停止特性如图 4-2 所示。图中曲线 1 为标准电压斜坡、电流限制；曲线 2 为电压斜坡、电流限制。图中电压 U_N 为电动机额定电压；U_q 为起动电压；电流 I_N 为电动机额定电流；I_x 为电动机起动限制电流；t_s 为电动机起动时间；t_p 为电动机停止时间；n_N 为电动机额定转速。

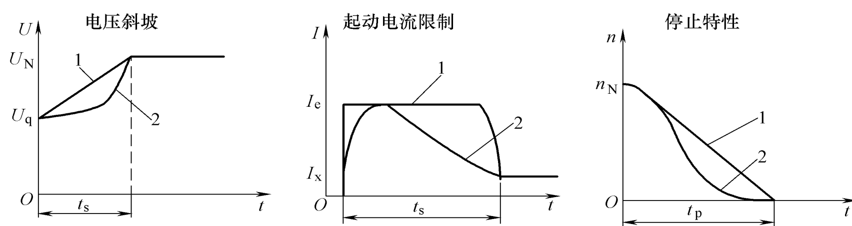


图 4-2　WITR 软起动器的起动与停止特性

6. WITR 软起动器典型应用

（1）典型应用电路　WITR 口 V-口/D（智能型）软起动器典型应用电路如图 4-3 所示。WITR1V-口/D 智能型软起动器接线端子功能如下：

①1、2 端子串接在主接触器线圈回路中，软停止后将断开主接触器电源（内部触头容量：7A/250VAC，12A/125VAC）。

②3、4端子接旁路接触器线圈（内部触头容量：7A/250VAC，12A/125VAC）。

③5、6端子为旁路接触器电源AC220V/AC380V。

④7、8端子为断相报警无源输出，容量为AC24V/3A（无源常开点）。

⑤9、10端子接软停止按钮。

⑥11、12端子接软起动按钮。

⑦13、14端子接计算机复位按钮。

⑧15、16端子为软起动器电源，15接N线，16接相线。

（2）典型一拖三型应用电路

WITR口V-口/E智能型软起动器一拖三型典型应用电路如图4-4所示。WITR口V-口/E智能软起动器功能强大，外部接线非常简捷，除所需控制电源输入，接触器线圈输出为有源接线外，所有控制信号都为无源开关量输入信号，只需要一个电平信号即可完成所需功能。不需外部连接复杂的继电器逻辑电路或采用PLC，只需起停信号按钮和接触器线圈输出连接端，即可实现软起动器的一拖三功能。

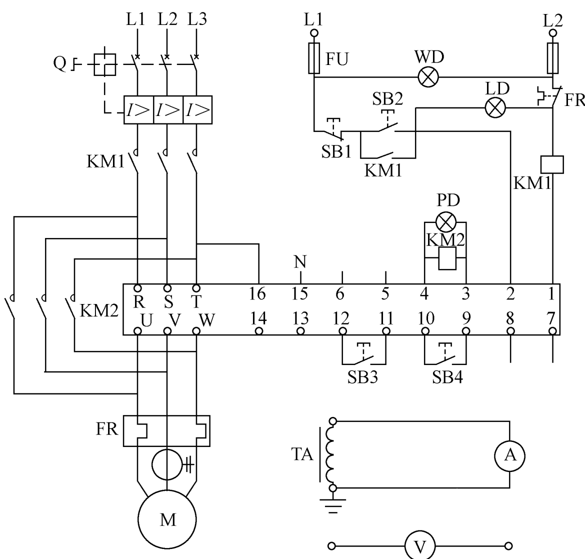
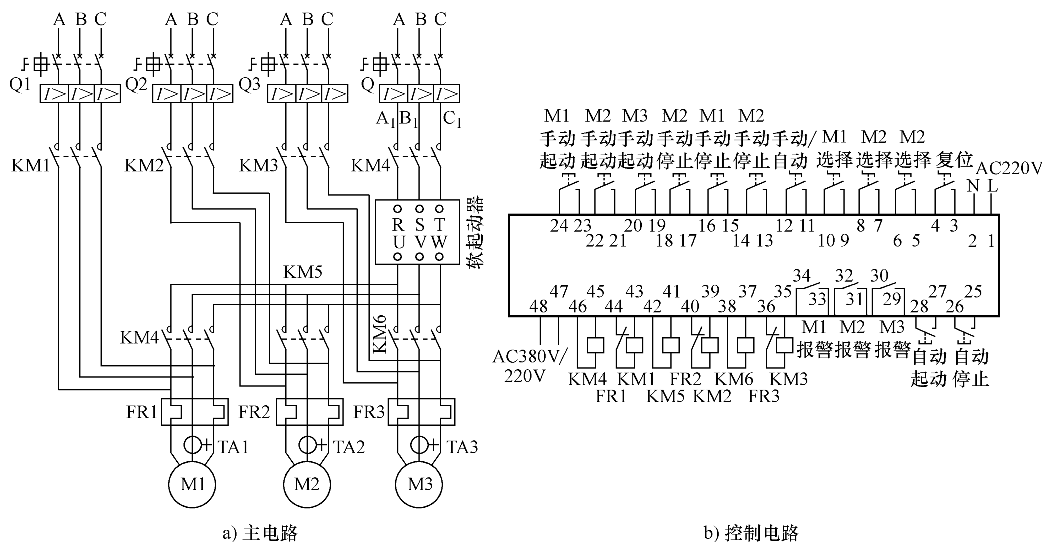


图4-3 WITR软起动器典型应用



a) 主电路　　b) 控制电路

图4-4 智能型软起动器一拖三型典型应用电路

WITR1V-□/E智能型软起动器一拖三型端子功能如下：

①1、2端子为控制板电源，交流220V，（1号接点必须接相线L，2号接点必须接零线N）。

②3、4 端子计算机复位按钮。

③5、6 端子为 M3 选择开关，关闭后 M3 处于可运行状态，M3 指示灯点亮，M3 可正常起动。打开后 M3 处于备用状态，M3 不能起动。

④7、8 端子为 M2 选择开关，关闭后 M2 处于可运行状态，M2 指示灯点亮，M2 可正常起动。打开后 M2 处于备用状态，M2 不能起动。

⑤9、10 端子为 M1 选择开关，关闭后 M1 处于可运行状态，M1 指示灯点亮，M1 可正常起动。打开后 M1 处于备用状态，M1 不能起动。

⑥11、12 端子接手动/自动选择开关，关闭时软起动器处于手动状态，打开时软起动器处于自动状态，此设置只有在软起动器通电前的状态有效，通电后改变无效。

⑦13、14 端子接 M2 手动开机按钮。

⑧15、16 端子接 M1 手动关机按钮。

⑨17、18 端子接 M3 手动关机按钮。

⑩19、20 端子接 M3 手动开机按钮。

⑪21、22 端子接 M2 手动关机按钮。

⑫23、24 端子接 M1 手动开机按钮。

⑬25、26 端子接自动关机按钮，当三台电动机都处于运行状态时，软停车的顺序为 M1→M2→M3。

⑭27、28 端子接自动开机按钮，当三台电动机都处于准备起动状态时，软起动的顺序为 M3→M2→M1。前一台电动机起动完毕后，间隔 30s 开始起动后一台电动机。

⑮29、30 端子为 M3 为断相报警无源输出，容量为 AC24V/3A。(无源常开点)

⑯31、32 端子为 M2 为断相报警无源输出，容量为 AC24V/3A。(无源常开点)

⑰33、34 端子为 M1 为断相报警无源输出，容量为 AC24V/3A。(无源常开点)

⑱35、36 端子接 M3 旁路接触器线圈，(内部触头容量 7A/250VAC，12A/125VAC)。

⑲37、38 端子接 M3 选择接触器线圈，(内部触头容量 7A/250VAC，12A/125VAC)。

⑳39、40 端子接 M2 旁路接触器线圈，(内部触头容量 7A/250VAC，12A/125VAC)。

㉑41、42 端子接 M2 选择接触器线圈，(内部触头容量 7A/250VAC，12A/125VAC)。

㉒43、44 端子接 M1 旁路接触器线圈，(内部触头容量 7A/250VAC，12A/125VAC)。

㉓45、46 端子接 M1 选择接触器线圈，(内部触头容量 7A/250VAC，12A/125VAC)。

㉔47、48 端子接触器电源 AC220V/AC380V。(内部触头容量 7A/250VAC，12A/125VAC)。

实例 2　XPR1-3000 系列软起动器应用电路

XPR1-3000 系列软起动器是现代电力电子技术、计算机技术和现代控制理论相结合的新型起动设备，是传统用于电动机起动的星三角起动器、自耦减压起动器、磁控减压起动器等起动设备的理想替代产品。其主要特性有：

①有效降低了电动机的起动电流，可减少配电容量，避免增容投资。

②减小了电动机及负载设备的起动应力，延长了电动机及机械设备的使用寿命。

③软停车功能有效地解决了惯性系统的停车而引起喘振问题，是传统起动设备无法实现的。

④具有完善可靠的电动机保护功能，有效地保护了电动机及相关生产设备的使用安全。

⑤XPR1-3000系列软起动器采用智能化、网络化技术，使得电动机控制技术适应了自动化控制系统要求。

1. 接线类别和外接端子

XPR1-3000系列软起动器有三类接线：主电路接线、外接端子接线、通信接线。

（1）主电路接线　主电路接线包括三相电源输入断路器至软起动器和软起动器输出至电动机接线端的接线、旁路接触器接线。XPR1-3000系列软起动器主电路接线如图4-5所示（55kW及以下规格的软起动器标准配置为三进三出型，无运行监测保护功能）。

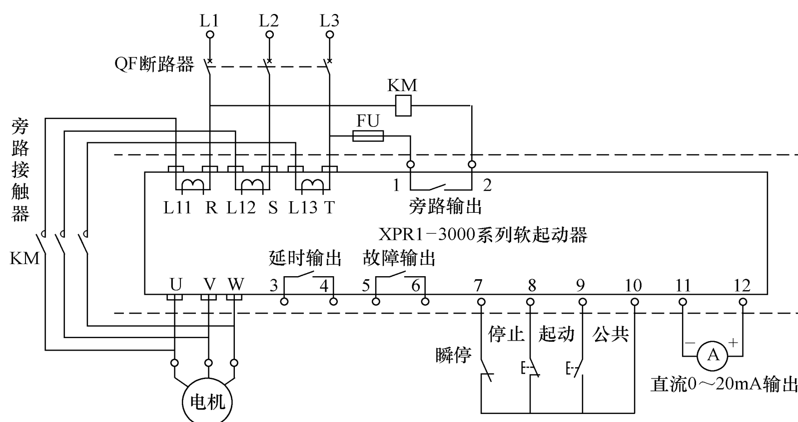


图4-5　XPR1-3000系列软起动器主电路接线

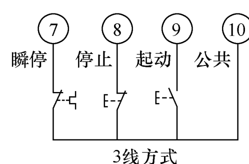
（2）外接端子接线　外接端子接线由12个小型接线端子引出，包括输入、输出控制线和模拟输出信号线。XPR1-3000系列软起动器外接端子如图4-5所示。

端子①、②为旁路输出：用于控制旁路接触器，为常开无源触头，起动成功时闭合。触头容量：AC250V/5A。

端子③、④为可编程继电输出：延时时间由设置项F4设定，输出时刻由设置项FJ设定。为常开无源触头，输出有效时闭合，触头容量：AC25OV/5A。

端子⑤、⑥为故障输出：软起动器发生故障或失电时闭合，工作正常时开路，为无源触头。触头容量：AC25OV/0. 3A。

端子⑦为瞬停输入：软起动器正常工作时此端子必须与端子⑩短接，若此端子与端子⑩开路时，软起动器无条件停止工作，处于故障保护状态。此端子可受控于外部保护装置的常闭输出点。设置项FC设为0（一次侧保护）时，此端子功能被禁止。



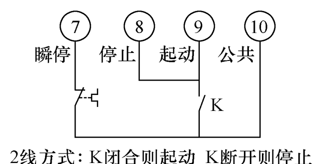


图4-6　外部端子接线

端子⑧、⑨、⑩为外控起动、停止按钮输入接线端子，有两种接法，即3线方式和2线方式。可根据需要选择连接，如图4-6所示。

端子⑪、⑫为0～20mA直流模拟输出：用于实时监视电动机电流，满度20mA时，指

示电动机电流为软起动器标称额定电流的 4 倍，可外接 0～20mA 直流电流表观察，该输出负载电阻最大值为 300Ω。

（3）通信接线　XPR1-3000 系列软起动器设有一个 RJ-45 标准网线插座和一个 DB9 插座，用于连接计算机或计算机网络。DB9 插座内置 RS-485 和 RS-232 接口，其引脚说明如图 4-7 所示。

DB9 插座引脚功能：

1 端为 RS-485＋；2 端为 RS-232 输出；3 端为 RS-232 输入；4 端为＋5V 输出（限流 50mA）；5 端接地端 GND；6 端为 RS-485-；7、8、9 端为空脚。产品自带 RS-232 与 RS-485 接口，选型时可根据不同的需求，选用以下选件：

①计算机集散式控制通信软件。

②DeviceNet 接口卡及通信软件。

③DeviceNet/Modbus/Profibus 网关。

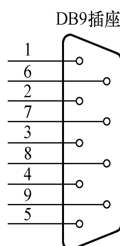


图 4-7　DB9 插座引脚

2. 控制面板与操作

XPR1-3000 系列软起动器共有 5 种工作状态：准备、运行、故障、起动和停止。准备、运行、故障均有相应的状态指示灯。XPR1-3000 系列软起动器起动时可显示电动机电流，故障时显示故障信息，停止时显示状态信息。XPR1-3000 系列软起动器控制面板如图 4-8 所示。

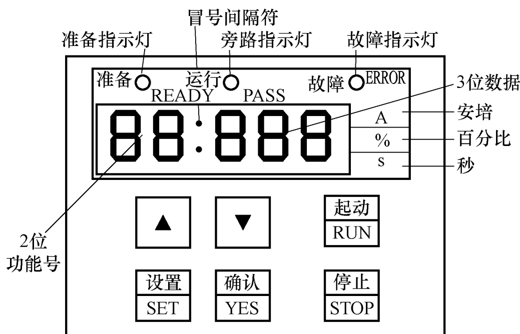


图 4-8　XPR1-3000 系列软起动器控制面板

（1）键盘操作方法　XPR1-3000 系列软起动器开机前有两种状态：

①开机状态：只有在准备指示灯亮且显示 CHIPU 或 READY 时，按起动键才可起动电动机。初次上电时显示 CHIPU 表示“西普”，否则显示 READY 表示准备。

②延时状态：准备或故障状态指示灯闪动表示间隔延时；显示 dEXXX 且倒计时表示起动延时。

（2）XPR1-3000 系列软起动器的按键功能如下：

①起动和停止键：在软起过程中，显示器显示-XXXX，指示起动电流值，此时只有停止键起作用，不能进入设置和帮助提示菜单，同时准备、运行、故障三个指示灯均不亮。在软停过程中，显示器显示-XXXX，指示电动机电流值，此时只有起动键起作用，不能进入设置和帮助提示菜单，同时准备、运行、故障三个指示灯均不亮。停止键兼有复位故障状态的功能。

②设置键：在非帮助状态下，按设置键进入设置菜单，显示 FX：XXX 再按设置键，冒号闪动，表示可以修改冒号后面的参数。在冒号闪动时按确认键，若数据已被修改，则显示 good，并连响两声，表示新数据已被保存，然后退出。若不想保存新数据，则按设置键，冒号停止闪动同时恢复原来的数据，再按确认键退出。也可按停止键直接退出。

③确认键：在非设置状态下，按确认键进入帮助菜单，显示 HX：XXX，再按确认键退出。也可按停止键退出。在设置状态下，按确认键保存新数据并退出设置状态。

④增、减键：在设置菜单中，冒号不闪时按增减键可改变功能号；冒号闪动时按增减键则改变数据，按住增、减键超过1s时，数据将快速连续增减。在帮助菜单中，按增减键改变功能号及相应的提示信息内容。在旁路运行指示灯亮时，且未进入设置和帮助菜单，则显示AXXXX，表示电动机运行电流，此时按增减键，可依次选择显示PXXXX或HXXXX。其中PXXXX表示电动机视在功率；HXXXX表示电动机过载热平衡系数，当HXXXX指示值大于100%时，将显示过载保护参数，即显示Err08。

当数据大于999时，最后一位小数点亮，表示尾数+0。按键操作有效时将有声响提示，否则说明本状态下此键无效。外控端子接于3线方式时，外控起动按钮和停止按钮分别与控制面板上的起动键和停止键功能等效。控制面板采用超强抗干扰设计，允许外引线距离大于3m。

3. 参数设置

XPR1-3000系列软起动器的参数设置代码见表4-2。

表4-2 参数设置代码

代码	名称	设定范围	出厂值	说明
F0	起始电压	30%～70%	30%	电压斜坡模式有效，电流模式起始电压为40%
F1	软起时间	2～60s	16s	限流模式无效
F2	软停时间	0～60s	4s	设为0时自由停车，一拖二接时设为0
F3	起动延时	0～999s	0s	用倒计时方式延时，设为0时不延时，立即起动
F4	编程延时	0～999s	0s	设为0起动时立即吸合，用于可编程继电器输出
F5	间隔延时	0～999s	0s	过热解除时也延时，延时期间状态指示灯闪动提示
F6	起动限制电流	50%～500%	250%	限流模式有效，电压斜坡模式限流值最大为400%
F7	最大工作电流	50～200%	100%	F6、F7参数的输入方式有F8决定
F8	输入显示方法	0～3	1	见表4-3
F9	欠电压保护	0～90%	80%	低于设定值时保护
FA	过电压保护	100%～130%	120%	高于设定值时保护
FB	起动模式	0～5	1	0为限流；1为电压；2为突跳+限流；3为突跳+电压；4为电流斜坡；5为双闭环
FC	输出保护允许	0～4	2	0为一次侧；1为轻载；2为标准；3为重载；4为高级
FD	操作控制方式	0～7	0	设为7时禁止起动或软停操作
FE	重起动允许	0～9	0	0为禁止；1、9为自动重起动次数
FF	参数修改允许	0～1	1	0为不允许修改参数；1为允许修改参数
FH	通信地址	0～63	0	用于多台软起动器与上位机通信
FJ	编程输出	0～7	2	编程输出设置
FL	软停限流	20%～100%	100%	软停限流设置
FP	电动机额定电流		额定值	用于输入电动机标称额定电流

注：1. 设置项F7最大工作电流是指允许电动机在FP设置数基础上计算的可持续运行的最大电流，超时此值将做反时限热保护。

2. 设置状态下若超过2min没有按键操作，将自动退出设置状态。

3. 在软起和软停过程中不能设置参数，其他状态下均可设置参数。

4. 按着确认键（YES）上电开机，可使设置参数恢复出厂值。

XPR1-3000 系列软起动器的设置项 F8 用于选择输入方式和显示方式，见表 4-3。

表 4-3　选择输入方式和显示方式

F8 设置数值	0	1	2	3
F6、F7 输入方式	电流数值	百分比	电流数值	百分比
运行显示方式	电流数值	电流数值	百分比	百分比

设置项 F6、F7 为百分比输入方式时，是指设置项 FP 设置的电动机电流数值的百分比。设置项 FD 用于选择软起动器的控制方式，见表 4-4。

表 4-4　选择软起动器的控制方式

显示数值	0	1	2	3	4	5	6	7
键盘控制	1	1	0	0	1	1	0	0
外控	0	1	1	1	1	0	0	0
通信控制	0	0	0	1	1	1	1	0

表中：1 为允许，0 为禁止。例如若起动后不允许意外停止，或维修时不允许意外起动，可把此项设为 7，则禁止所有起动或停止操作。

当外控允许时，外控端子⑧、⑩之间必须接一常闭按钮或短接，否则无法起动电动机。设置项 FJ 用于设定可编程继电输出的起始时刻，见表 4-5。

表 4-5　可编程继电输出的起始时刻

FJ 设置数值	0	1	2	3
编程输出时刻	发起动命令时	开始起动时	旁路运行时	发停止命令时
FJ 设置数值	4	5	6	7
编程输出时刻	停机完成时	瞬停发生时	故障发生时	自动重起动结束时

若设置项 F4 不为 0，则从表 4-5 所列时刻为起始点按 F4 设置时间开始延时。延时终止时，延时输出触头闭合，否则若 F4 为 0 时立即闭合。

该输出的复位（即触头断开）时刻是在按 F4 设置时间延时结束，且在准备状态下再维持 1s 时；如果再次起动电动机则自动中断上次编程输出过程，并重新起动该过程。灵活运用可编程继电输出功能，可有效地简化外围控制逻辑电路。

4. 自动重起动功能设置

当设置项 FE 不为 0 时，将允许自动重起动功能。此功能仅在外控 2 线方式有效，并且不受外控允许设置项 FD 控制。按两线方式接线且置于闭和起动状态时：

①上电后延时 60s 自动起动。

②发生故障停机后，经延时 60s 后自动重新起动，但当设置项 F5 的设置时间大于 60s 时，则按 F5 设置时间延时。延时期间状态指示灯闪动。

③包括上电起动和发生故障后重新起动在内共可自动起动 n 次，n 为设置项 FE 设定值。

④自动重起动方式必须重新上电开机才能生效，且每次重新上电都再次生效。

XPR1-3000 系列软起动器具备失压保护功能，即断电且又来电后，无论外控端子处于何种位置，均不会自行起动，以免造成伤害事故。但当自动重起动功能允许时，失电保护功能将失效。

5. 帮助信息

XPR1-3000 系列软起动器的帮助信息提示见表 4-6。

表 4-6　帮 助 信 息

显　　示	说　　明
AC：×××	3 为数字电压表，用于监测三相交流电源电压。
055-3	提示本软起动器规格为 55kW-380V/50Hz。
H1：E05	提示最后发生过的故障信息 Err05。(依次类推)
.	.
H9：E00	提示没有故障信息。
Ver1. 5	提示本产品软件版本为 Ver1. 5。
H1 ~ H9 用递推的方式存储新发生过的 9 个故障信息。	

在非软起和软停状态，且未进入设置状态时，按确认键可进入帮助菜单，再按增、减键可选择提示信息。在帮助状态下按确认键或停止键可退出帮助状态。

6. 保护功能

XPR1-3000 系列软起动器具有完善的保护功能以保护软起动器和电动机的使用安全。在使用中，应根据不同的情况恰当地设置保护级别和保护参数。

(1) 保护功能及其参数

软起动器过热保护：温度升至 80℃ ±5℃时保护动作，当温度降至 55℃时（最低），过热保护解除。

输入缺相保护滞后时间：<3s。

输出缺相保护滞后时间：<3s。

三相不平衡保护滞后时间：<3s。以各相电流偏差大于 50% ±10% 为基准，当负载电流低于软起动器标称额定值的 30% 时，判定基准偏差将增大。

起动过电流保护时间：持续大于设置项 F7 最大工作电流 5 倍时的保护时间，见表 4-7。

表 4-7　不同保护级别及热保护时间

<table>
<tr><td>FC 设置</td><td>0（一次侧）</td><td colspan="3">1（轻载）</td><td colspan="3">2（标准）</td><td colspan="3">3（重载）</td><td colspan="3">4（高级）</td><td>说　　明</td></tr>
<tr><td>运行过载保护级别</td><td>无</td><td colspan="3">2 级</td><td colspan="3">10 级</td><td colspan="3">20 级</td><td colspan="3">10 级</td><td>按 IEC60947-4-2 标准</td></tr>
<tr><td>起动过电流保护时间</td><td>无</td><td colspan="3">3s</td><td colspan="3">15s</td><td colspan="3">30s</td><td colspan="3">15s</td><td>按起动电流超过 F7 设置 5 倍计</td></tr>
<tr><td rowspan="2">运行过载脱扣时间列表</td><td>电流倍数（I/I_N）</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td rowspan="2">表中数值为典型值</td></tr>
<tr><td>脱扣时间/s</td><td>4. 5</td><td>2. 3</td><td>1. 5</td><td>23</td><td>12</td><td>7. 5</td><td>46</td><td>23</td><td>15</td><td>23</td><td>12</td><td>7. 5</td></tr>
</table>

运行过载保护时间：以设置项 F7 最大工作电流为基准作反时限热保护，脱扣保护时间曲线如图 4-9 所示。

电源电压过低保护滞后时间：当电源电压低于极限值 40% 时，保护动作时间 <0. 5s，

否则低于设定值时保护动作时间 <3s。

电源电压过高保护滞后时间：当电源电压高于极限值 130% 时，保护动作时间 <0.5s；否则高于设定值时保护动作时间 <3s。

负载短路保护滞后时间：<0.1s，电流为软起动器标称额定电流的 10 倍以上。

以上时间参数是从检测到有效信号开始到发出脱扣保护指令为止，XPR1-3000 系列软起动器所列的所有保护功能均可通过实际的或模拟的方法进行验证，若不符合应用的要求，则应另加专用保护装置，以确保软起动器和电动机的安全运行。

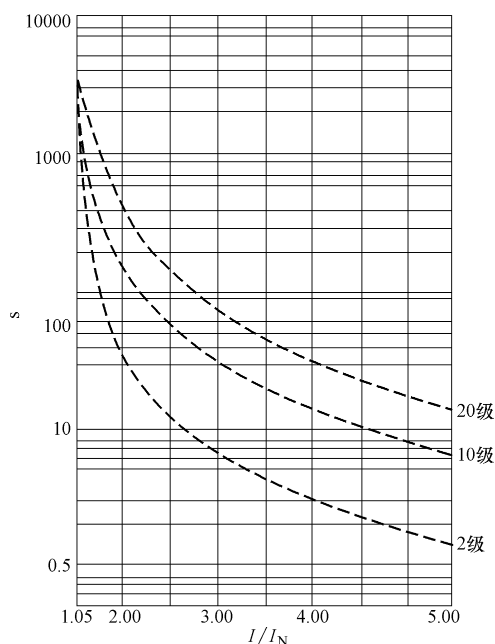


图 4-9　脱扣保护时间曲线

（2）保护级别设定　为了适应不同的应用场合，XPR1-3000 系列软起动器设有五个保护级别，分别为 0：一次侧、1：轻载、2：标准、3：重载、4：高级，由设置项 FC 设定，其中：

一次侧保护禁止了外接瞬停端子功能，同时仅保留了过热、短路和起动时的输入缺相保护，适用于需无条件紧急起动的场合，如消防泵等。

轻载、标准、重载三个保护级别具备完全的保护功能，区别在于电动机过载热保护时间曲线不同。其电动机热保护时间参数见表 4-7。

高级保护在起动时的保护标准更为严格，其他保护功能参数与标准保护设置相同。按设置项 FC 设定的不同保护级别及热保护时间见表 4-7。

在应用中应按电动机标牌上的额定电流数值输入设置项 FP，否则当设置项 F6、F7 的输入方式为百分比方式（由设置项 F8 设定）时，起动电流和保护电流会有较大偏差。

设置项 FP 设定的电动机电流不能低于软起动器标称电流的 20%。当 FP 设定的电动机电流较小时，保护脱扣动作的灵敏度误差将增大。

7. 试运行

通电运行前应检查以下项目：

①软起动器额定功率是否与电动机相匹配。

②电动机绝缘性能是否符合要求。

③输入输出主电路接线是否正确。

④所有接线端子的螺钉是否拧紧。

上电时显示 CHIPU（西普）或 READY（准备），且准备状态指示灯亮，此时按起动键可起动电动机。起动后检查电动机转动方向是否正确，运转是否正常，若不正常，可按停止键停机或必要时切断电源。如果电动机起动状态不理想，可选择恰当的起动模式。若电动机起动力矩不够，可改变起始电压（电压方式时）或限流值（电流方式时），以提高电动机的起动转矩。

软起动器通电后，请勿打开上盖，以免触电。在通电试运行过程中，如发现异常现象，

如异常声音、冒烟或异味等，应迅速切断电源并查清原因。若上电后或起动时故障指示灯亮且显示 Errxx，可按所显示的故障代码对应查找原因。按停止键或外控停止按钮可复位故障状态。当环境温度低于 -10℃时，应通电预热 30min 以上再起动。

当软起动器起动电动机成功时，面板中间的运行状态指示灯点亮，表示已处于旁路运行状态。若此时旁路接触器未吸合导致电动机停止运行时，应检查旁路接触器及相关接线是否有误或接触不良。

8. 起动模式

XPR1-3000 系列软起动器有六种起动模式以适应各种复杂的电动机和负载情况，应用中可根据不同的应用情况进行选择。

（1）限电流起动模式　采用限电流起动模式时，设置项 FB 设置为 0。图 4-10 给出了限电流起动模式的电动机起动电流变化波形。其中 I_1 为设定的起动限流值，当电动机起动时，输出电压迅速增加，直到电动机电流达到设定的限流值 I_1，并保持电动机电流不大于该值，然后随着输出电压的逐渐升高，电动机逐渐加速，当电动机达到额定转速时，旁路接触器吸合，输出电流迅速下降至电动机额定电流 I_N 或以下，起动过程完成。

当电动机负载较轻或设定的限流值较大时，起动时的最大电流也可能达不到设定的限流值时仍属正常。限电流起动模式一般用于对起动电流有严格限制要求的场合。

（2）电压斜坡起动模式　采用电压斜坡起动模式时，设置项 FB 为 1。图 4-11 给出了电压斜坡起动的输出电压波形。其中 U_1 为起动时的初始电压值，当电动机起动时，在电动机电流不超过额定值 400% 的范围内，软起动器的输出电压迅速上升至 U_1，然后输出电压按所设定的起动参数逐渐上升，电动机随着的电压的上升不断平稳加速，当电压达到额定电压 U_N 时，电动机达到额定转速，旁路接触器吸合，起动过程完成。

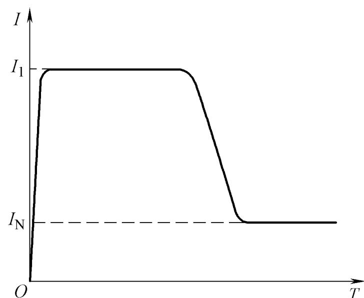


图 4-10　限电流起动模式的电机电流变化波形

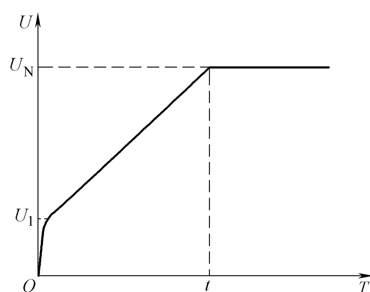


图 4-11　电压斜坡起动的输出电压波形

起动时间 t 是根据标准负载在标准实验条件下所获得的控制参数，XPRI-3000 系列软起动器以此参数为基准，通过控制输出电压使电动机平稳加速以完成起动过程，在负载较轻时，起动时间往往小于设定的起动时间，只要能顺利起动则属正常。电压斜坡起动模式适用于对起动电流要求不严而对起动平稳性要求较高的场合。

（3）突跳起动模式　采用突跳起动模式时，设置项 FB 为 2 或 3，图 4-12 和图 4-13 给出了突跳起动模式的输出电压变化波形。在某些重载场合下，由于机械静摩擦力的影响而不能

起动电动机时，可选用此种起动模式。在起动时，先对电动机施加一个较高的固定电压并持续有限的一段时间，以克服电动机负载的静摩擦力使电动机转动，然后按限电流（见图 4-12）或电压斜坡（见图 4-13）的方式起动。

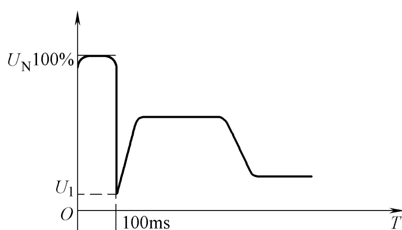


图 4-12　限电流突跳起动模式的输出变化波形

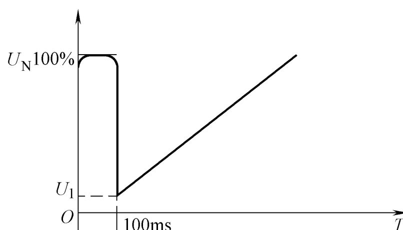


图 4-13　电压斜坡突跳起动模式的输出变化波形

在用此模式前，应先用非突跳模式起动电动机，若电动机因静摩擦力太大不能转动时，再选用此模式；否则应避免采用此模式起动，以减少不必要的大电流对电网和机械设备的冲击。

（4）电流斜坡起动模式　采用电流斜坡起动模式时，设置项 FB 为 4。图 4-14 为电流斜坡起动模式的输出电流波形，其中 I_1 为 F6 设置的限流值，T_1 为 F1 设置的时间值。

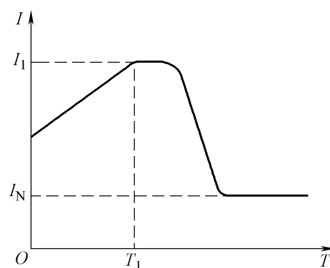


图 4-14　电流斜坡起动模式的输出电流波形

电流斜坡起动模式具有较强的加速能力，适用于两极电动机，也可在一定范围内缩短起动时间。

（5）电压限流双闭环起动模式　采用电压限流双闭环起动模式时，设置项 FB 为 5。电压限流双闭环起动模式采用电压斜坡和限电流双闭环电路控制，是一种既要求起动较平稳又要求严格限流的综合起动模式，它采用了估算电动机工作状态的预测算法。该起动模式的输出电压波形将根据电动机和负载情况的不同而有所变化。

9. 停机模式

XPR1-3000 系列软起动器有两种停机模式，即软停机模式和自由停机模式。

（1）软停机模式　采用软停机模式时，设置项 F2 不为 0。在这种停机模式下，电动机的供电由旁路接触器切换到软起动器的晶闸管输出，软起动器的输出电压由全压开始逐渐减小，使电动机转速平稳降低，以避免机械设备产生振荡，直到电动机停止运行。软停机时的输出截止电压等同于起动时的起始电压。

软停机模式可减少和消除水泵类负载的喘振，软停机模式可用设置项 FL 设定软停限制电流值，减少软停时的大电流冲击，此软停限制电流值是在起动限制电流值基础上计算的百分比。

（2）自由停机模式　采用自由停机模式时，设置项 F2 为 0。在这种停机模式下，软起动器接到停止命令后立即断开旁路接触器并禁止软起动器晶闸管的电压输出，电动机依负载惯性逐渐停机。在一拖二（多）接线方式时，应把软起动器的停机模式设为自由停机模式，

以避免输出切换时的缺相故障报告。一般情况下，如无必要软停机，则应选择自由停机模式，以延长软起动器的使用寿命。自由停机模式完全禁止了瞬时输出，可避免特殊应用场合的瞬时大电流冲击。

实例3　WJR旁路型三相电动机软起动应用电路

WJR系列三相电动机软起动单元是三相交流异步电动机专用控制产品。起动方式采用时间斜坡，并具有起动电流限制。本单元具有软起动、起动电流限制、软停、故障保护等功能。运行时需用接触器旁路。适用于线电压为380V、AC ±10%、50Hz的电动机。

1. 型号命名

WJR系列三相电动机软起动单元型号命名如图4-15所示。

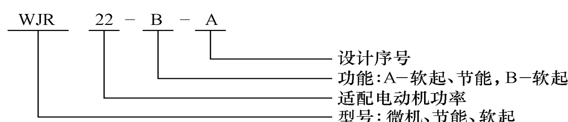


图4-15　WJR系列三相电动机软起动单元型号命名

2. 技术指标

①输入电压：380V AC ±10%，50Hz。

②额定功率：22～315kW。

③额定绝缘电压：660V AC。

④起动方式：电压时间斜坡并具有起动电流限制。

⑤起动初始电压：调节范围为输出电压的20%～80%。

⑥起动电流倍数：1～4倍（用户可调）。

⑦起动时间范围：2～75s可调。

⑧软停时间范围：0～75s可调。

⑨保护功能：断相、过电流、过载、三相电流不平衡、晶闸管过热。

⑩相序：对输入电源无相序要求。

⑪继电器触头容量：250V/5A。

⑫环境温度：-20～+40℃。

3. 面板示意

WJR系列三相电动机软起动单元面板示意如图4-16所示。

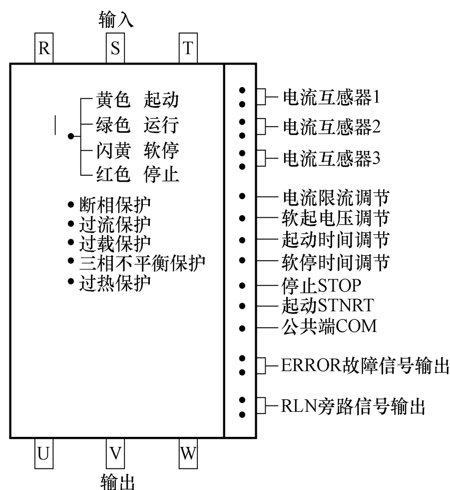


图4-16　WJR系列三相电动机软启动单元面板示意图

4. 安装场所要求

为了达到预定的设计性能和正常的使用寿命，应正确安装WJR系列产品。WJR系列产品对安装环境要求如下：

①环境温度：-20～+40℃。

②环境湿度：5～95%RH，无雾化。

③防雨防湿。

④远离金属粒子、导电性灰尘和腐蚀性气体。

5. 系统构成

（1）电流互感器的选配　WJR系列产品电流互感器的选配，见表4-8。

表 4-8　电流互感器的选配数据

软起动器功率/kW	22	37	45	55	75	110
电流互感器/A	200:5	300:5	400:5	500:5	600:5	800:5
软起动器功率/kW	132	160	185	200	250	315
电流互感器/A	1000:5	1500:5	1500:5	2000:5	2000:5	3000:5

（2）主电路　WJR 系列三相电动机软起动单元主电路如图 4-17 所示。

（3）控制电路　WJR 系列三相电动机软起动单元控制电路如图 4-18 所示。

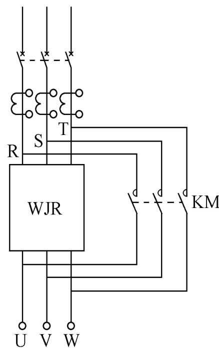


图 4-17　主电路

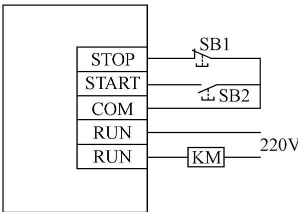


图 4-18　控制电路

6. 参数调节

（1）起动初始电压　软起动器刚起动时的输出电压调节范围为输出电压的 20% ~80%，顺时针调节起动初始电压增大，可根据电动机负载适当调节使电动机能顺利起动，出厂值为 40%。

（2）电流限制　为了防止起动时大电流对电网和被电动机拖动机械设备的冲击，采取了限制起动电流的措施，将起动时的电流限制在额定电流的 1 ~4 倍（用户可调），顺时针调节起动电流增大，出厂值为 4 倍（对起动电流无要求的用户不需调整此项）。

（3）软起动时间　电流为 I_1 时起动所用时间为 T_2，电流为 I_2 时起动所用时间为 T_1，起动特性如图 4-19 所示。软起动器从初始起动电压 U_2 到电动机额定电压输出 U_3 所需要的时间如图 4-20 所示。图中，T_1 ~ T_2 为起动时间；U_3 为软停初始电压、U_1 为软停终止电压；T_3 ~ T_4、T_3 ~ T_5 为不同软停时间。为了满足不同电动机负载对起动时间的要求，起动时间范围为 2 ~75s 可调，用户可根据电动机负载要求自行调节。

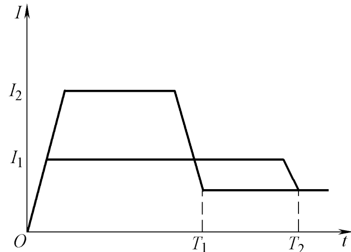


图 4-19　电动机起动电流-时间曲线

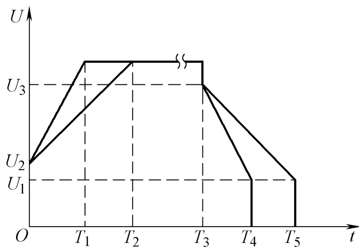


图 4-20　软起动电压-时间曲线

在起动电流达到电流限制值时，输出电压 U_2 不再增加，如图4-21所示。U_1 为软起初始电压；U_2 为电流限制时的输出电压；U_3 为额定电压；I_1 为电流限制值；T_1 正常起动时间；T_2 实际起动完成时间，起动所需时间将在软起动时间基础上加长。出厂值为（10s）。

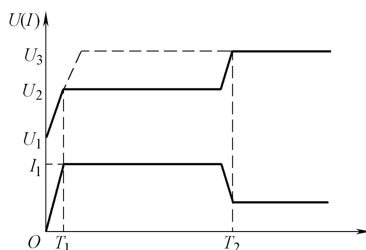


图4-21 软起动限流方式电压-时间曲线

（4）软停时间 软起动器输出电压从软停初始电压 U_3 降到软停终止电压 U_1 所需要的时间如图4-20所示。软停时间为0～75s可调，若把软停时间设置为“0”则无软停功能，用户可根据实际需要进行调节，出厂值为0s。

7. 信号端子说明

（1）旁路信号输出端子（RUN） 电动机起动结束后，继电器触头闭合并通过端子输出（触头容量：250V/5A），用于控制旁路接触器。接触器规格大于160A以上，需用中间继电器来控制接触器。

（2）起动、停止信号输入端子（STOP、START、COM）

①三线控制。按下起动按钮（SB2）（见图4-18），电动机开始起动，起动完成后，旁路信号输出，系统处于旁路工作状态。按下停止按钮（SB1），电动机停止，若软停有效则进入软停状态。

②二线控制。控制电路中停止按钮不接，按下起动按钮（SB2）（见图4-18），电动机开始起动，松开起动按钮（SB2），电动机停止，若软停有效则进入软停状态。此方式可用于点动和继电器控制。

（3）电流互感器输入端子 电流互感器1、电流互感器2、电流互感器3分别接入三相电流互感器，不分相序，二次输出电流为5A。

（4）工作状态指示灯 黄色：起动状态；绿色：运行状态；闪黄：软停状态（有软停功能时）；红色：停车状态。

8. 一拖三典型电路应用

一拖三典型电路如图4-22所示。该电路适用于一台软起动单元拖动三台电动机手动单独起动，在任意一台电动机起动完成后，软起动单元处于待命状态，此时方可起动下一台电动机。在这种方式下，软起动单元的软停功能不起作用（即使设定在软停状态）。软起动单元在起动时对电动机的保护功能仍然起作用，当电动机进入正常运行状态时保护功能将不起作用，须另加电动机保护器件，如图4-22中的FR1、FR2、FR3。

9. 安全注意事项

①配接输入电源线、输出负载线和地线时，应依照电气设计标准规定进行，以确保安全。

②晶闸管输出端（接电动机一侧）不能接功率补偿电容。

③散热片应可靠接地。

④不可将交流电源连接至软起动器输出端子U、V、W。

⑤检修软起动器时应断开主电源和控制电源。

⑥旁路接触器应与软起动单元一同使用并保证相序一致。

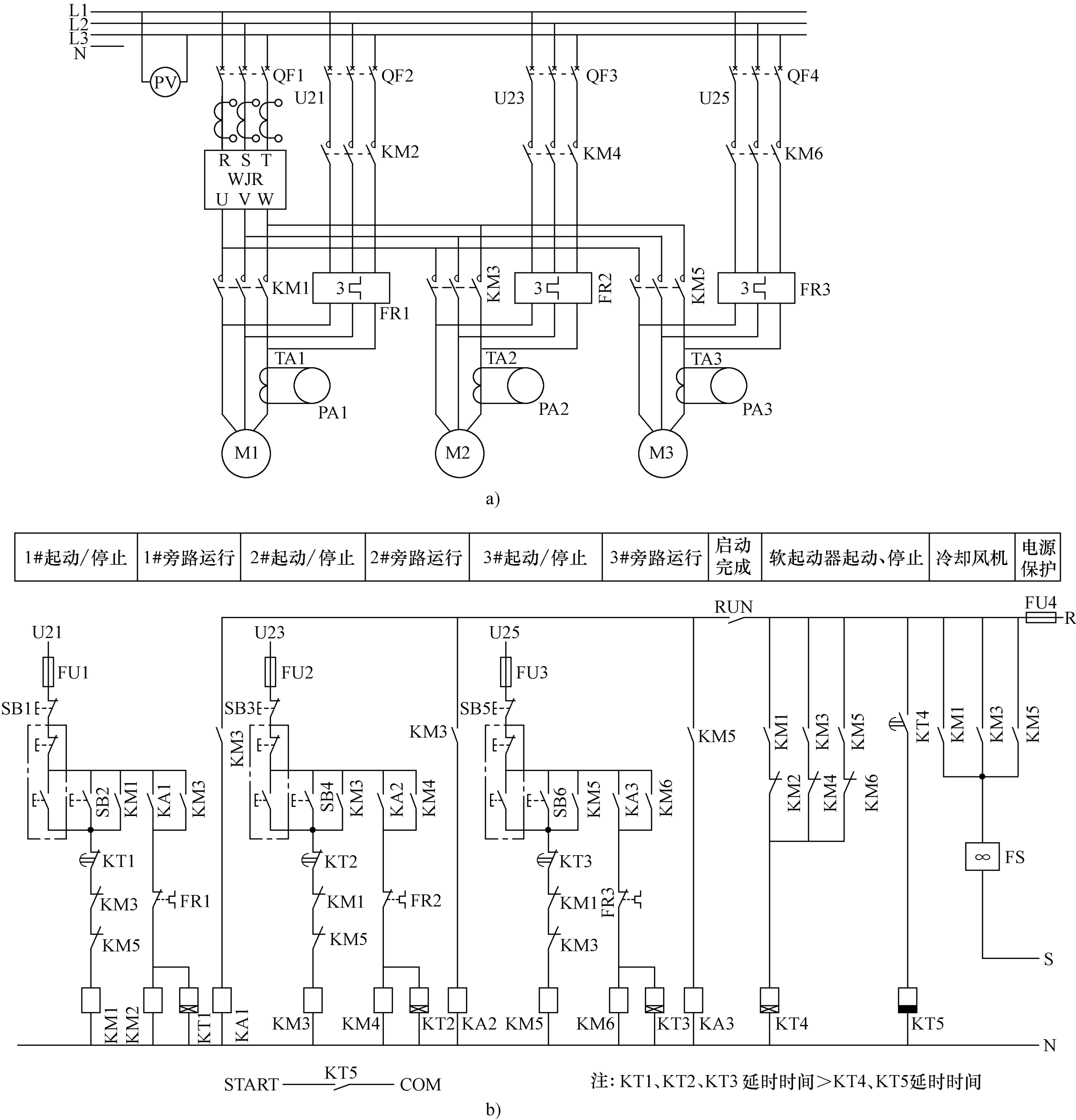


图 4-22　一拖三典型电路

a）主电路　b）控制电路

实例 4　电动机软起动电路

1. 电动机软起动的单电动机主电路方案

带旁路接触器的软起动电路是目前软起动应用的主要电路方案，由软起动器组成的控制电动机起动的装置，除去主要电器设备——软起动器外，为了实现与电网、电动机之间

可靠工作，仍需施加起保护协调与控制作用的低压电器，如刀开关、熔断器、刀熔开关、断路器、热继电器、快速熔断器等，实现功能不同，电路配置不同。电路的主要结构形式有：

①接触器-熔断器电路。在软起动电路中值得推荐的是接触器-熔断器组；即所谓F-C电路，如图4-23所示。

②断路器-接触器电路。断路器-接触器电路接线方式是目前多数软起动用户采用的首选方案，一拖一断路器-接触器电路如图4-24所示。其中断路器既可采用带热磁脱扣器的塑壳开关，也可采用单有电磁脱扣的塑壳断路器。

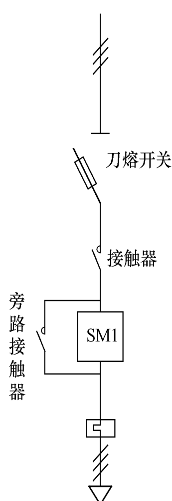


图4-23 接触器-熔断器电路

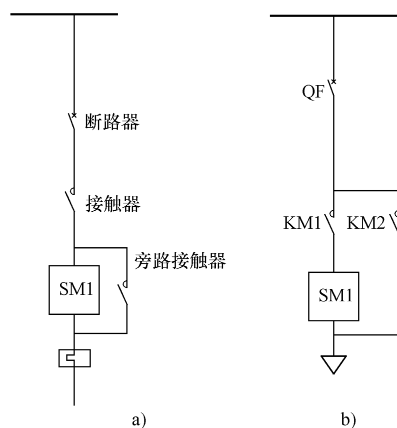


图4-24 断路器-接触器

断路器-接触器电路带旁路接触器电路有两种接线，图4-24a为一拖一方案，只设一台接触器KM。但软起动上侧仍带电（网侧）。图4-24b设了两只接触器（KM1、KM2），KM1与KM2之间互相联锁运行。这时当软起动转入旁路运行时，先将KM1断开，KM2才能闭合，软起动器的网侧就不会带电。

带旁路接触器两个旋转方向的运行电路如图4-25所示。在图4-25中，KM1为主接触器，KM2为旁路接触器，KM3为反方向运行运转接触器。利用SB3、SB4控制正向与反向运行，利用在软起动内部的逻辑信号，控制软起动完成后的旁路运行。SB2为停止开关，SB5为急停开关。

2. 软起动与多电动机主电路方案

对于有些工业负载，要求采用一台软起动设备对若干台电动机按序起动时的主电路，如图4-26所示。一台软起动器起动多台电动机，在主电路接线方面，是将软起动器电动机侧分别引出若干个并联支线，然后分别通过接触器，再通过分别的热继电器（起过载保护作用）后到电动机的接线端子。若考虑到起动过后的旁路接触器分别与电网并接，还要单独设置其旁路接触器（如KM2，KM3）。对一台软起动器按序起动多台电动机的容量选择可考虑两种情况：

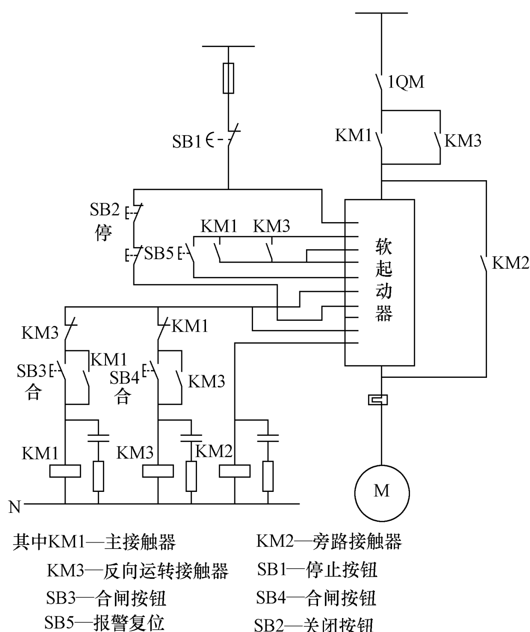


图 4-25　带旁路接触器两个旋转方向运行电路

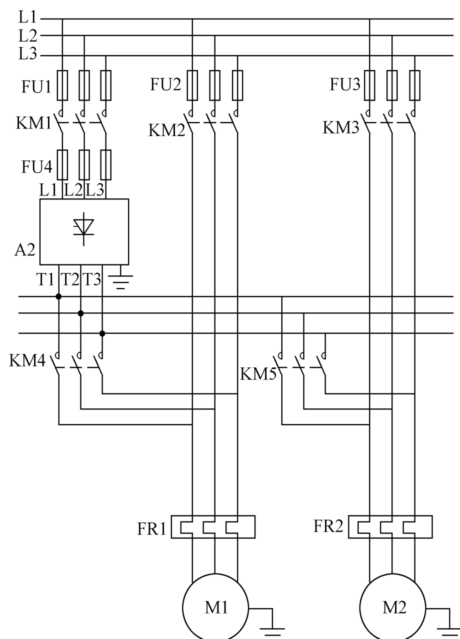


图 4-26　多个电动机按序起动电路

①多台电动机的容量相同，那么软起动器的容量按通常的方法计算即可。

②多台电动机的容量不相同时。软起动器的容量估算要依据多台电动机中容量大的确定，并同时考虑多台电动机的分别起动间隔时间，这一间隔时间一定要与软起动允许起动次数一致。如果多台电动机的各台起动没有间隔时间，即连续按序起动软起动器，因每次起动引起的软起动器温升来不及冷却，会导致软起动器温升过高，报警装置动作，甚至将软起动器烧坏。

在这种情况下，应将各台电动机的负载之和作为一台电动机考虑，求出它们的有效平均电流，然后根据这一有效平均电流去选择软起动器。

实例 5　风机变频调速电路

风机应用广泛，但常用的方法则是调节风门或挡板开度的大小来调整受控对象，这样，就使得能量以风门、挡板的节流损失消耗掉了。采用变频器调节风机转速，可实现风量调节并节约能源及减少机械磨损。针对风机的特性变频器的容量选择与所驱动的电动机容量相同即可。变频器的运行控制方式，选择依据是风机在低速运行时，阻转矩很小，不存在低频时带不动负载的问题，采用 U/f 控制方式即可。考虑到变频器一旦发生故障，也不能让风机停止工作，应具有将风机由变频运行切换为工频运行的控制。

1. 变频器的功能预置

以森兰BT12S系列变频器为例，变频器的功能预置：F01＝5；频率由X4、X5设定。F02＝1，使变频器处于外部FWD控制模式。F28＝0，使变频器的FMA输出功能为频率。F40＝4，设置电机极数为4极。FMA为模拟信号输出端，可在FMA和GND两端之间跨接频率表。F69＝0，选择X4、X5端子功能。即用控制端子的通断实现变频器的升降速。X5与公共端CM接通时，频率上升；X5与公共端CM断开时，频率保持。X4与公共端CM接通时，频率下降；X4与公共端CM断开时，频率保持。这里使用SB1和SB2两个按钮，分别与X4和X5相接，按下按钮SB2使X5与公共端CM接通，控制频率上升；松开按钮SB2，X5与公共端CM断开，频率保持。同样，按下按钮SB1使X4与公共端CM接通，控制频率下降；松开按钮SB1，X4与公共端CM断开，频率保持。

2. 主电路

风机变频调速系统电路如图4-27所示。三相工频电源通过断路器QS接入，接触器KM1用于将电源接至变频器的输入端R、S、T，接触器KM2用于将变频器的输出端U、V、W接至电动机，KM3用于将工频电源直接接至电动机。注意接触器KM2和KM3绝对不允许同时接通，否则会造成变频器损坏，因此，KM2和KM3之间必须有可靠的互锁。热继电器FR用于工频运行时的过载保护。

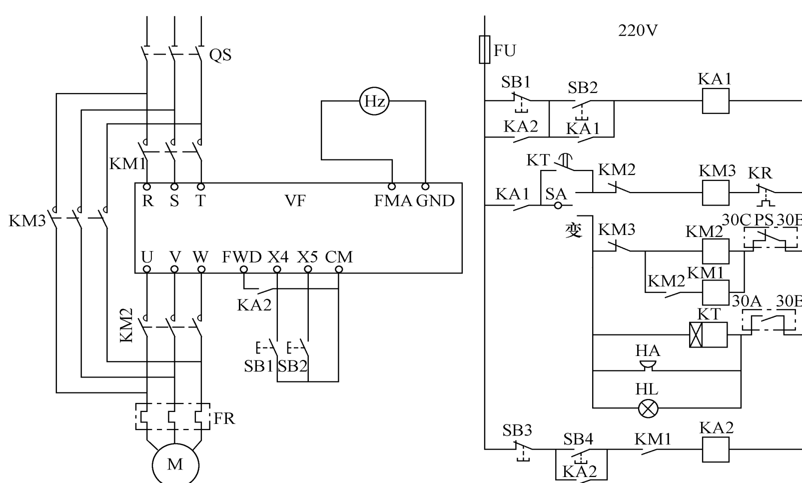


图4-27　风机变频调速系统电路

3. 控制电路

设置有变频运行和工频运行的切换，控制电路采用三位开关SA进行选择。当SA合至工频运行方式时，按下起动按钮SB2，中间继电器KA1动作并自锁，进而使接触器KM3动作，电动机进入工频运行状态。接下停止接钮SB1、中间继电器KA1和接触器KM3均断电，电动机停止运行。当SA合至变频运行方式时，按下起动按钮SB2，中间继电器KA1动作并自锁，进而使接触器KM2动作，将电动机接至变频器的输出端。KM2动作后使KM1也动

作，将工频电源接至变频器的输入端，并允许电动机起动。同时使连接到接触器 KM3 线圈控制电路中的 KM2 的常闭触头断开，确保 KM3 不能接通。接下按钮 SB4、中间继电器 KA2 动作，电动机开始加速，进入变频运行状态。KA2 动作后，停止按钮 SB1 失去作用，以防止直接通过切断变频器电源使电动机停机。在变频运行中，如果变频器因故障而跳闸，则变频器的 30B-30C 保护触头断开，接触器 KM1 和 KM2 线圈均断电，其主触头切断了变频器与电源之间以及变频器与电源之间的连接。同时 30B-30A 触头闭合，接通报警扬声器 HA 和报警灯 HL 进行声光报警。同时，时间继电器 KT 得电，其触头延时一段时间后闭合，使 KM3 动作，电动机进入工频运行状态。

实例 6　安川 VS616G5 变频器拖动多台风机调速电路

1. 系统介绍

系统由四台风机组成，四台风机的功率均为 55kW，系统主电路如图 4-28 所示。变频器输出端通过接触器 KM11、KM21、KM31、KM41 分别控制四台电动机，同时，接触器 KM12、KM22、KM32、KM42 经热继电器分别将电动机连接至电网。变频器选用了日本安川公司的 VS616G5-55kW。

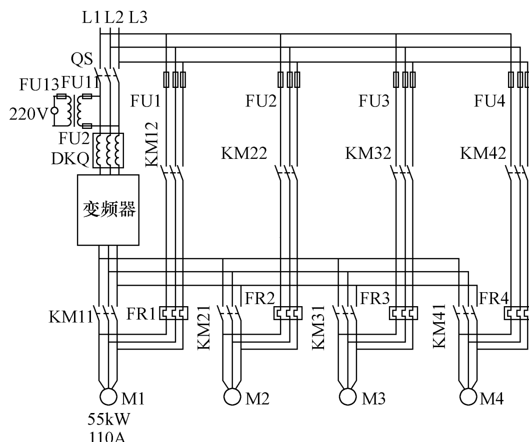


图 4-28　系统主电路原理

逻辑控制和软件联锁由 PLC 实现，PLC 采用了日本三菱公司的 FX2-48，PLC 输出点通过中间继电器转换控制相对应的接触器，如图 4-29 所示。

2. 工作原理

由于系统可实现电动机软起动，有效地减少风机起动时对电网的冲击；系统的工作过程以风机 M1 为例：起动时首先 KM11 闭合，风机变频软起动，当到达同步转速后，按切换按钮，使 KM11、KM12 切换，KM11 接至工频电源。依此类推，可分别起动每台风机。如果某台风机需要调速，则由变频器直接驱动，根据要求调速运行。

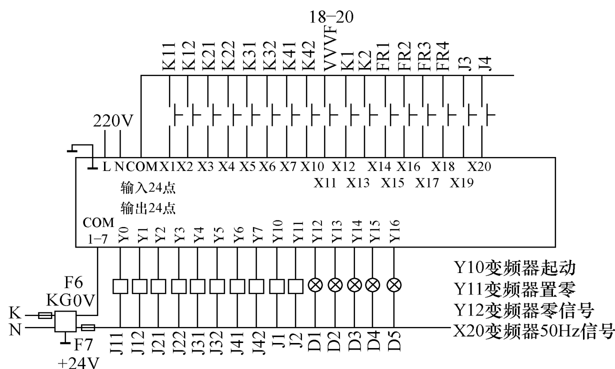


图 4-29　PLC 逻辑控制

本系统由于采用单台变频器实现多台电动机的切换，因此切换时对变频器的保护是控制系统可靠运行的关键，系统中采用了硬件和软件相配合的双重保护。硬件联锁中，充分利用了安川变频器多功能输入、输出接点。在电动机起动过程中，当 PLC 接到起动信号后，将首先判别变频器是否有 0Hz 信号，以此保证电动机必须由 0Hz 开始起

动；为减少切换时的电流冲击，只有当变频器输出频率达到50Hz时，才可切换至工频电源。切换时，当KM11断开前，必须将变频器输出置零，而且KM11和KM12通过硬件联锁以保证不会同时闭合。

变频器的8#多功能输入接点设置为外部自由运行停止功能；用于切换时保证变频器输出为零；25#多功能输出接点设置为0Hz信号、28#多功能输出接点设置为50Hz信号供系统起动和切换时检测，输出接点输入PLC通过软件联锁，反馈至变频器输入接点。PLC保证变频器不会同时接通两台风机。风机起动、切换过程如图4-30所示。

3. 调试过程

在调试过程中发现，切换时由于接触器释放和吸合存在延时，电动机的转速会随着负载的不同而下降，这使电动机切换至工频电源时产生电流冲击。在这种情况下，对不同负载的风机的切换频率进行了不同的设置，令切换频率均大于50Hz，惯量小的负载切换频率设置高一些，惯量大的负载设置小一些，通过切换时检测电流设置相应的切换频率，使每台风机切换时的冲击电流能够控制在电动机额定电流的2倍以内。

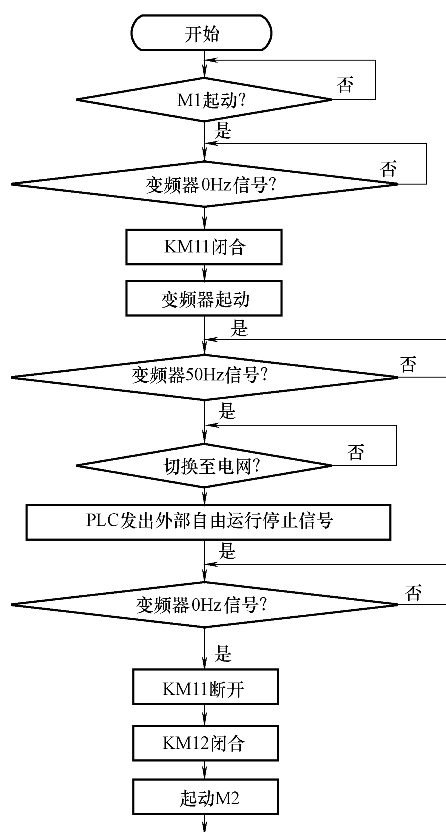


图4-30　起动、切换流程

实例7　施耐德Altivar38变频器拖动鼓风机电路

三段连续式燃气加热炉采用两台同型号离心式风机并联运行，通过调节风门挡板，以控制送风量，满足煤压、炉温对送风量的要求。生产实际所要求的送风量大概为一台半风机的总送风量，采用两台风机电动机工频运行，调节一台风机的风门挡板控制风量，挡板上消耗了大量功率，造成大量电能损耗，因此对其中一台风机进行变频调速，另一台仍采用常规电气控制。

1. 系统主电路

系统主电路如图4-31a所示。图中，1QF、2QF为低压断路器，1KM、2KM为交流接触器，LAC为三相交流电抗器，1TA、2TA为电流互感器，FR为热继电器，变频器选用施耐德Altivar38系列ATV38HC25N4X（额定功率220kW，额定电压380/460V，额定电流407A）。

（1）工频切换控制　系统控制电路如图4-31b所示。1KT、2KT为时间继电器，1KA、2KA为中间继电器，KF为变频器内部故障继电器，在变频器正常运行时，接点RB闭合，变频器发生故障时，接点RC闭合。控制电路的工作过程如下：

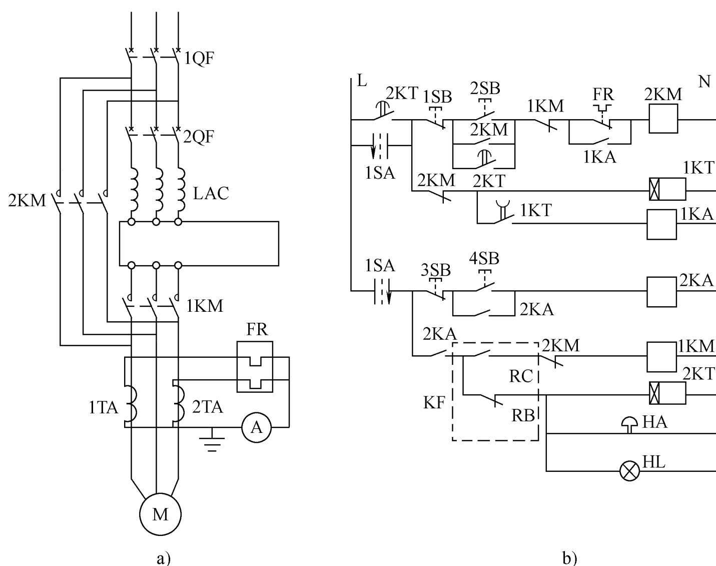


图 4-31　系统电路图
a）主电路　b）控制电路

①工频运行。转换开关 1SA 转至“工”位，按起动按钮 2SB，可实现接触器 2KM 吸合，电动机工频起动并运行。用电流互感器 1TA、2TA 与热继电器 FR 配合可对电动机进行过载保护，时间继电器 1KT 与中间继电器 1KA 配合，可避免电动机起动时因起动电流过大，引起热继电器误动作而导致接触器 2KM 断开。时间继电器 1KT 失电延时断开时间整定为略大于电动机起动时间。

②变频运行。转换开关 1SA 转至“变”位，按起动按钮 4SB，中间继电器 2KA 得电并自锁，同时变频器内部故障继电器 KF 接点 R1C-R1A 接通，接触器 1KM 得电，将电动机接至变频器，将变频器正转转换开关 2SA 及本地/远程控制转换开关 3SA 接通，按本地/远程控制所在的档位，给定变频器输出频率，起动变频器运行，电动机起动并运行至变频器输出频率（转速）。

当变频器发生故障时，其故障继电器 KF 动作，接点 R1C-R1A 断开，1KM 断电，电动机脱离变频器，同时接点 R1C-R1B 接通，蜂鸣器 HA 鸣叫，指示灯 HL 亮，发出声光报警，经时间继电器 2KT 延时后，接触器 2KM 得电，电动机切换至工频运行。当操作人员得到报警信号后，将转换开关 1SA 切换至工频运行位置，声光报警解除。

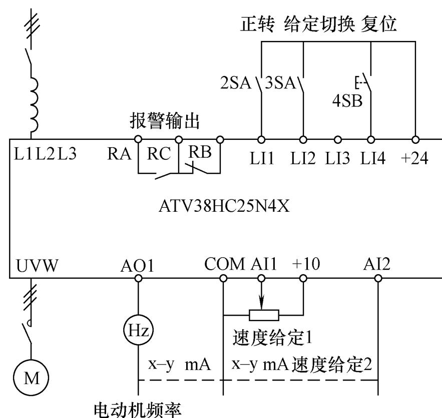


图 4-32　变频器控制端接线

（2）变频器控制端子接线　施耐德 Altivar38 系列变频器的 I/O 控制端子可根据控制要求通过设定参数进行自由配置。变频器的控制端子分为四部分，如图 4-32 所示。逻辑输入端包括 LI1、

LI2、LI3、LI4、+24等，其中LI1设定为正转。LI2设定为给定切换，由其选择速度给定1和速度给定2。LI3未定义。LI4设定为故障复位。模拟输入端包括AI1、AI2、COM、+10等。其中AI1为速度给定1，由本地电位器给定输入。AI2为速度给定2，由4~20mA直流电流由远程输入。模拟输出端包括AO1、COM等。AO1为电流输出端，可外接频率表及去手动操作器显示频率。逻辑输出端包括内部故障继电器RB、运行继电器RC等的输出接点，可接至相应控制电路。

2. 变频器的功能设定

施耐德Altivar38系列变频器的功能码分别有DISPLAY（显示）菜单、ADJUST（调整）菜单、DRIVE（传动）菜单、CONTROL（控制）菜单、I/O（输入/输出）菜单、FAULT（故障）菜单、FILES（文件）菜单等七种菜单，通过对每个菜单中的各个功能代码进行设定即可完成相应的功能设定。变频器的功能设定如下：

①内外控指定选择：LCC=NO（外控，非变频器操作盘控制）。

②端子排控制的配置：TCC=2W（2线控制，LI1自动为正转）。

③逻辑输入端设定：LI2=RFC（可给定切换），LI4=RST（故障复位）。

④模拟输入端设定：AI2=FR2（速度给定2）。

⑤模拟输出端设定：AO1=OFR（电动机实际运行频率）。

⑥加速和减速斜坡形状设定：RPT=S（S形斜坡）。

⑦加减速斜坡时间设定：ACC=60s，DEC=300s。

⑧模拟输入端上信号的最小值和最大值设定：CRL=4mA，CRH=20mA。

⑨模拟输出端上信号的最小值和最大值设定：AOL=4（mA）AOH=20（mA）。

⑩最低最高频率设定：LSP=0.0Hz，HSP=50Hz。

此外，还应根据电动机参数相对应设定变频器的参数，其他功能设定遵照出厂设定值。当变频器逻辑输入端LI2（给定切换）接通，即转换开关3SA选择远程控制时，模拟输入端AI2的电流输入信号作为速度给定2，取代模拟输入端AI1由电位器取出的电压给定信号1。由于电流给定信号不受电路压降、接触电阻及其压降、感应噪声等影响，具有较强的抗干扰能力，因此需远程控制电动机转速（频率）时，要向变频器提供一个模拟电流输入信号，同时变频器的实际输出频率（即电动机的转速）也相应在控制室内显示。采用智能手动操作器（型号HR-WP-D935-02-12/12-H-A）可实现双LED数码同步显示两个模拟量输入、输出值，满足远程控制的要求。

3. 手动操作器

智能手动操作器采用智能化微机技术，可实现全新的数字式调试，全机无电位器，轻触式面板按键操作，只需修改内部参数，即可进行校对及量程变更，能自动跟随输入值进行控制输出，可同时显示（LED数码显示）外给定信号及反馈信号的测量值等功能。

手动操作器技术参数为模拟输入信号：DC4~20mA；模拟输出信号：DC4~20mA；测量精度：0.2%FS；分辨率：±1字；显示方式：0~100%显示。参数设定为面板轻触式按键数字设定，参数设定值断电后永久保存，供电电压：AC220V，功耗≤5W。

HR-WP-D935LED显示面板如图4-33a所示。其中AL1、AL2分别为报警指示灯，A/M为功能指示灯，PVLED显示器、SVLED显示器均为LED数码显示，在参数设定状态下，可显示参数符号及参数设定值，正常运行时，PVLED显示器显示变频器的频率输出（%），

SVLED 显示器显示手动操作器的手动给定值（%）。SET 为参数选择键，▲为设定值增加键，▼为设定值减小键，RST 为复位键。

手动操作器的接线如图 4-33b 所示。AC220V 电源来自变频器控制柜，端子⑨、⑩为手动控制的输出电流值（mA），分别接至变频器控制端 AI2、COM；端子⑭、⑮为电流输入端，接至变频器输出的电动机实际运行频率的模拟电流（mA）端子 AO1 及 COM。手动操作器参数设定如下：

①显示方式参数：DIP1 = 03（PVLED 显示变频器频率实际值（%），SVLED 显示手动给定值（%））。

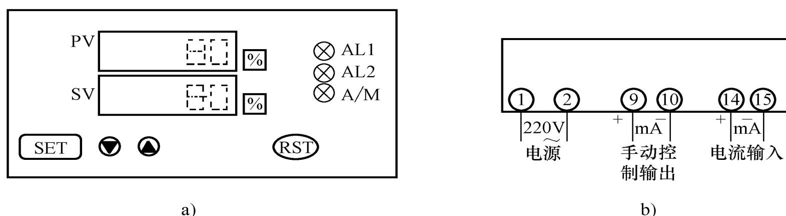


图 4-33　HR-WP-D935LED 智能手动操作器

a）LED 显示面板　b）接线

②输出方式：1T = 2（模拟控制输出），输出下限 10UL = 4mA，输出上限 10UH = 20mA。

③输出类型：OUT = 0（模拟量控制输出），控制输出下限 OUL = 0%，控制输出上限 OUH = 100%。

④外给定输入分度号：1SLO = 12。

⑤外反馈量程下限：1PVL = 4mA，外反馈量程上限：1PVH = 20mA。

⑥外给定量程下限：1SLL = 4mA，外给定量程上限：1SLH = 20mA。

⑦其他参数设定按使用手册规定值设定。

实例 8　明电 THYFREC-VT210S 变频器拖动空调通风机电路

中央空调风机控制系统若采用原始的Y-△起动，起动后电动机一直满负荷运行，风量也只能靠调节风门控制。不仅浪费了大量电能，而且环境温度可调节范围很窄。空调通风系统中采用的 THYFREC-VT210S 通用型变频器，对空气处理机（AHU）的电动机进行变频驱动，从而对空气处理机内风机进行速度控制，同时取得了节省能量，减少风机及电动机的机械应力的作用。变频调速系统主电路如图 4-34 所示。

1. VT210S 变频器主要功能

（1）控制方式　VT210S 变频器频率控制采用全数字准正弦波 PWM 控制方式，载波频率为 3 ~ 12kHz。VT210S 变频器控制方式有：

①U/f 特性：恒转矩、恒功率及递减转矩，在 3 ~ 440Hz 独立任选。

②转矩补偿：自动/手动选择，提升范围 0 ~ 20%，衰减范围 0 ~ 25%。

③起动频率：0.1 ~ 60Hz（标准设定 1.0Hz）。

④起动转矩：150% 以上（使用明电舍公司标准电动机）。

⑤加/减速时间：0.01 ~ 60000s（加/减速分别设定）。

⑥加减速方式：直线形/S 形加速和减速方式任选。

⑦有三种操作方式：A. 正转、反转；B. 往复运转；C. 停车控制正/反转、停止、点动。

⑧停车方式：减速停车，惯性停车。

（2）I/O 接口

①操作单元：5 位 7 段 LED，8 个 LED 指标灯方式/单位，直接/遥控，正反转循环操作任选，所有参数均可由 LED 操作单元显示、修改。

②输入信号：正转、反转、急停、故障复位、5X 程序输入。

③输出信号：故障（继电器 1-c 连接），运行（继电器 1-a 连接）等。

④频率设定输入。

⑤外接仪表输出。

⑥频率设定电源可采用 DC10V、2W-2kΩ 电位器。

（3）保护特性

①过载报警：过电流限制（OCL），过电压限制（OVL），电流检测功能可预设过载。

②跳闸：过电流（OCL），过电压限制（OVT），欠电压（UVT，IGBT 损坏），过载（OLT），过热（OHT），接地故障（GRD（选件）），并具有自检功能。

③故障历史：四种最新的故障记录于机内，记录的内容为第一次和第二次跳闸前的频率和电流。

④过载能力：150%/min，170%/0.5min（在频率 0.5Hz 及以下：75%/1min），反时限动作。

⑤重试功能：1～10 次。

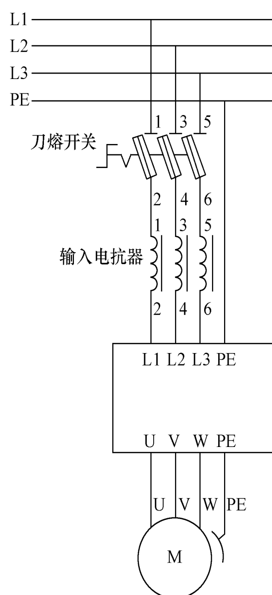


图 4-34　变频调速系统主电路

2. 系统调试

在对 VT210S 变频器进行调试前，首先必须测定电动机电路的绝缘，检查接线是否正确，然后接通电源，测试电动机转向是否正确。

（1）操作面板试运行　采用操作面板试运行步骤如下：

①合上电源的，操作面板上的显示器显示 OFF，此时，LCL 和 Hz 指示灯同时点亮。

②按 FWD 键，则 FWD 灯亮显示内容由 OFF 变成 20.00，这是因为本机设置频率（A00-0）在出厂时设定为 20Hz。

③按 REV 键，确认电动机是否反转运行。

④按 STOP 键，使电动机停止。

⑤按 FWD 键，电动机将在 20Hz 下正转。

⑥按 RST/MOD 键，这时将交替显示“A00-0”和“20.00”。

⑦按 LCL/SET 键，这时将停在 20.00 上，小数点闪烁，此时可以改变设置频率，按▲和 1 键来增减输出频率值。

⑧按▲键，频率可以增到 50Hz。

⑨当电动机速度达到 50Hz 时，按 STOP 键，电动机将在 90s 之内减至 0.00Hz，FWD 和 REV 灯闪烁（2s）指示 DC 制动起作用，使电动机停车。

⑩按 REV 键，作反转试运行，此时就完成了用面板作试运行的操作。

（2）外部控制方式试运行　使用输入/输出端子进行外部控制，设定与外部控制相关的参数，外部控制方式可以通过变频器的控制信号接线端子实现，有关的控制方式可参考说明书的控制电路板端子功能栏进行输入/输出控制，同时按 STOP + LCL/SET 键，控制方式可从本机改为遥控方式或从遥控改为本机控制。

实例 9　空气压缩机的变频调速电路

空气压缩机传统的工作方式为进气阀开、关控制方式，即压力达到上限时关阀，压缩机进入轻载运行；压力抵达下限时开阀，压缩机进入满载运行。这种频繁地加减负载过程，不仅使供气压力波动，而且使空气压缩机的负载状态频繁地变换。由于设计时压缩机不能排除在满负载状态下长时间运行的可能性，所以只能按最大需求来选择电动机的容量，故选择的电动机容量一般较大。在实际运行中，轻载运行的时间往往所占的比例是非常高的，这就造成巨大的能源浪费。空气压缩机采用变频调速技术进行恒压供气控制时，系统原理框图如图 4-35 所示。空气压缩机变频调速系统电路如图 4-36 所示。

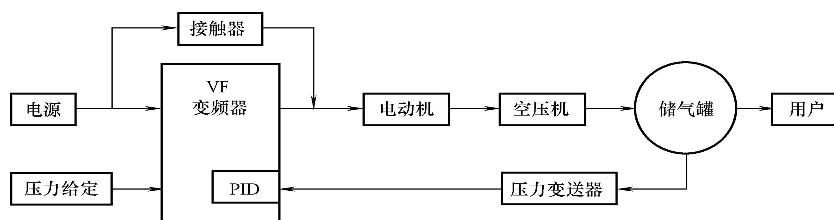


图 4-35　系统原理框图

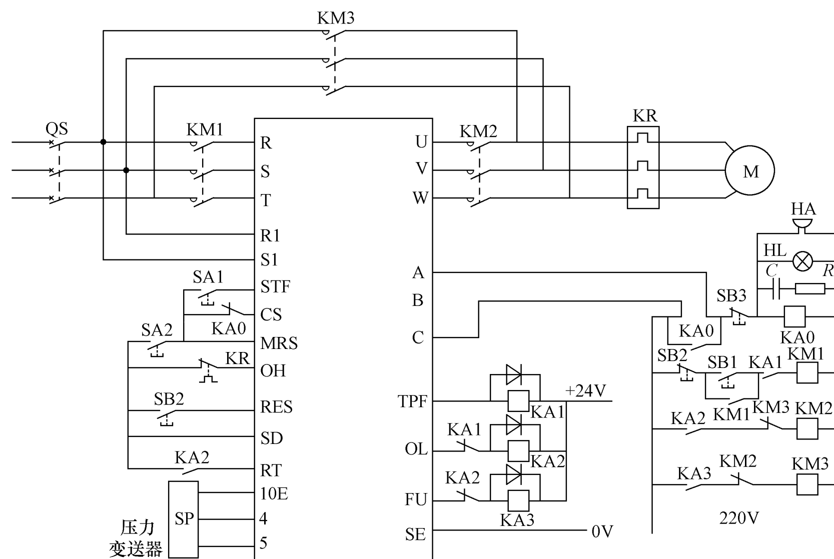


图 4-36　空气压缩机变频调速系统电路原理图

为防止电网与变频器之间的干扰，在变频器的输入侧最好接一个电抗器。安装时控制柜与压缩机之间的主配线不要超过30m，主配线与控制线要分开走线，且保持一定距离。控制电路的配线采用屏蔽双绞线，接线距离应在20m以内。另外控制柜内要装有换气扇，变频器接地端子要可靠接地，不与动力接地混用。完成变频器的功能设定及空载运行后，可进行系统联动调试。调试的主要步骤：

①将变频器接入系统。

②进行工频控制运行。

③进行变频控制运行，其中包括开环与闭环控制两部分调试：

● 开环：主要观察变频器频率上升的情况，设备的运行声音是否正常，空压机的压力上升是否稳定，压力变送器显示是否正常，设备停机是否正常等。

● 闭环：主要依据变频器频率上升与下降的速度和空压机压力的升降相匹配，不要产生压力振荡，还要注意观察机械共振点，将共振点附近的频率跳过去。对PID参数的进行整定。

实例10　变频恒压供水控制电路

对供水系统的控制，归根结底是为了满足用户对流量的需求。所以，流量是供水系统的基本控制对象。而流量的大小又取决于扬程，但扬程难以进行具体测量和控制。考虑到在动态情况下，管道中水压的大小与供水能力（由流量Q_g表示）和用水需求（用水量Q_u表示）之间的平衡情况有关。当供水能力Q_g>用水需求Q_u，则压力上升（$p\uparrow$）；当供水能力Q_g<用水需求Q_u，则压力下降（$p\downarrow$）；当供水能力Q_g=用水需求Q_u，则压力不变（p=常数）。可见，供水能力与用水需求之间的矛盾具体反映在流体压力的变化上。因此，压力就成为控制流量大小的参变量。就是说，保持供水系统中某处压力的恒定，也就保证了使该处的供水能力和用水流量处于平衡状态，恰到好处地满足了用户所需的用水流量，这就是恒压供水所要达到的目的。

变频调速恒压供水系统如图4-37所示，图中MF为冷却风机，SA为选择开关，系统用户可方便地进行自动运转和手工运转的切换；给定压力是通过操作面板设置的；压力反馈用的压力传感器采用远传压力表，价格低廉，电路中的P为远传压力表；中间继电器KM是为了进行手动-自动电路之间的互锁并在发生瞬时停电时起作用；中间继电器RD是当电路自动工作变频运行时，防止储水池水位过低，水泵抽不到水而进行保护的。当水池水位低于要求值时，与RD线圈串联的OM触头断开，RD失电，使FR与DCM断路，水泵电动机停转。同时MBS与DCM接通，运转中的电动机全部停止。当由市电工频电源驱动电动机时，电动机回路中串接有热敏继电器进行过载保护；对于变频器和市电可切换驱动的电动机而言，必须使用电磁接触器触头互锁，防止双方的电磁接触器同时接通损坏变频器。系统主要电器的选择如下：

①QM2断路器额定电流按下述计算：

$$I_{QN}\geqslant(1.3\sim1.4)I_N=(1.3\sim1.4)\times16.4\approx23(A)$$

QM2的额定电流选30A。

式中，I_N为变频器的输出电流，等于16.4A。

②QM1断路器额定电流按下述计算：

$$I_{QN} \geqslant 2.5I_{MN} = 2.5 \times 13.6 = 34\text{A}$$

QM1 的额定电流选 40A

式中：I_{MN}为电动机的额定电流，等于 13.6A。

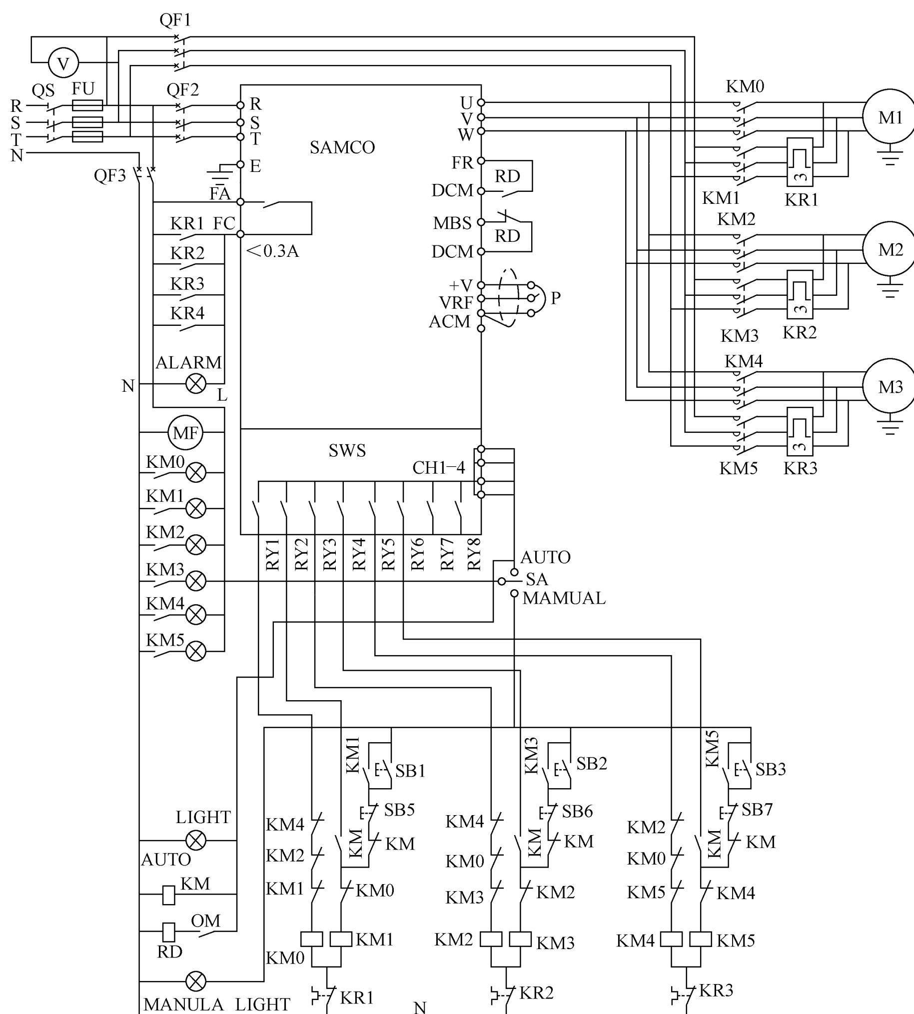


图 4-37　变频调速恒压供水系统

③接触器的选择应考虑到电动机在工频下的起动情况，其触头电流通常可按电动机的额定电流再加大一个挡次来选择，由于电动机的额定电流 $I_{MN}=13.6\text{A}$，所以接触器的触头电流选 20A 即可。变频器的输入端 R、S、T 和输出端 U、V、W 是绝对不允许接错的，否则将引起两相间的短路而将逆变管迅速烧坏。变频器都有一个接地端子“E”，用户应将此端子与大地相接。当变频器和其他设备，或有多台变频器一起接地时，每台设备都必须分别和地线相接，不允许将一台设备接地端和另一台的接地端相接后再接地。在进行变频器的控制端子接线时，务必与主动力线分离，也不要配置在同一配线管内，否则有可能产生误动作。压力设定信号线和来自压力传感器的反馈信号线必须采用屏蔽线，屏蔽线的屏蔽层与变频器的

控制端子 ACM 连接，屏蔽线的另一端的屏蔽层悬空。变频器功能参数设置，按说明书结合供水要求进行具体设置。

实例 11 变频器拖动热电厂给水泵调速电路

1. 系统构成

在电厂锅炉给水变频系统中，变频系统的主控单元采用了 Sanken-IPF 系列可编程序控制器，执行元件为变频驱动的给水泵，控制参数为给水母管压力。控制电路则是根据给水母管的实际压力进行调节的，其目的是使给水母管压力在给水泵供水过程中保持稳定。当实际压力产生变化时，装置通过压力检测单元将测出的压力信号转换成电信号，经 A/D 转换，送至 PLC，经过 PID 控制算法计算后由 D/A 单元输出给变频器。变频器再通过输出不同的电压及频率来控制给水泵的转速，从而改变给水泵的供水量。

实现给水母管压力稳定控制功能的系统如图 4-38 所示。给水系统中仅有两台（3#和4#）水泵接入变频调速系统运行。现场给水泵电动机的接线方式如图 4-39 所示。K1 作为变频器电源开关，K2 为 4 号泵工频起动开关；为了能达到检修及更换泵组的要求，K3、K4 分别为 3#、4#泵变频投入开关。

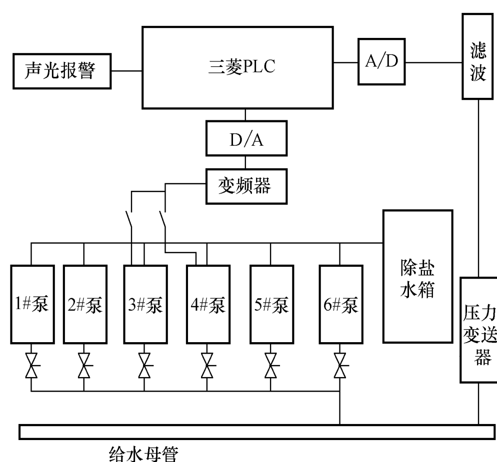


图 4-38 系统框图

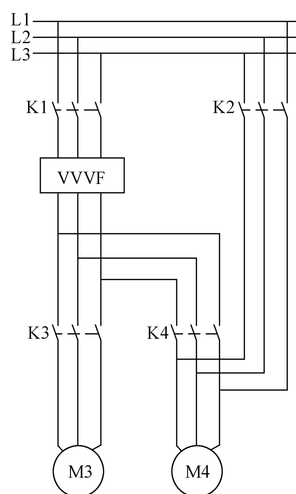


图 4-39 给水泵电机接线方式

系统中采用三菱触摸屏，使该系统具有良好的人机界面，同时还能显示变频器的输出频率、给水母管压力及故障情况。并且，对操作人员的每一步操作均有提示，防止误操作。

变频器投入自动运行后，系统会根据给水母管压力的大小自动调节变频器的输出频率。当给水母管压力低于设定值时，变频器的输出频率增加，如果输出频率达到 50Hz 时，母管压力还没有达到设定值，这时触摸屏显示增泵信号，提醒值班员起动其他工频泵。当给水母管压力高于设定值时，变频器的输出频率减少，如果输出频率降到 30Hz 时，给水母管压力还没有降到设定值，这时触摸屏显示减泵信号，提醒值班员停止其他工频泵。考虑到电动机运行时发热温升需要冷却这一点，故将最低频率值设定为 30Hz。

2. 变频运行的特点

给水泵变频系统除了节能外，水流量控制特性以及电动机和水泵的运行特性明显改善，其主要优点有：

①变频系统能根据给水母管压力的变化，调节给水泵的出水流量，以保证给水母管水压稳定。实现给水母管恒压控制，只需改变给水母管压力设定值，不需调整节流阀，运行自动化程度大为提高，运行和维护工作量降低。

②在未采用变频运行时，若在管道压力降低节流调节时，流量变小时，管道压力反而升高，容易爆管，不利于管道安全运行，而采用变频调节后，流量变小时，管道压力亦变低。

③给水泵的起动方式为变频软起动，有效地减少了电动机起动时大电流的冲击，因此，变频运行完全消除了因直接起动造成的对电动机、水泵和电网的冲击，降低了电动机故障率，延长了水泵、电动机的使用寿命。

④功率因数提高，从电网侧看，工频运行时功率因数为 0.85 左右，变频运行时功率因数达到 0.95，即使同样是满负载运行，变频运行时，高压输入电流明显比工频运行时小，这也有利于节能和设备安全运行。

⑤电动机和水泵运行寿命延长。设备转速降低后，运行噪声降低，磨损减少，设备寿命延长。

⑥控制响应速度快。改变水压设定值后，装置迅速改变运行转速，使给水母管水压迅速跟踪设定值。

实例 12　三菱 FR 变频器拖动中央空调冷冻泵调速电路

某大厦中央空调系统有三台型号为 SB-X-125-100-169K 的冷冻泵，流量为 $200m^3/h$，扬程为 31m，配用功率为 30kW 的笼型异步电动机，采用Y/△减压起动。中央空调运行期间，空调负荷是不断变化的，原有的冷冻泵采用改变阀门开启度的方法调节流量。当阀门不是全开的时候，水流能量消耗在阀门上，既浪费了能量，又缩短了阀门的使用寿命。一般情况下，泵都在额定工作条件下，按最佳工作条件设计操作。

中央空调系统的三台泵组采用一台变频器实现循环软起动，正常情况下，由“系统温度信号（两路）：PID-PLC 变频调速器-泵组”构成一个闭环控制电路，由此控制水泵的转速和运行状态，确保冷却水温度恒定。这样，既避免了起动大电流的冲击，又起到了很好的节能效果。

每台冷冻泵组采用“先投入，先退出”的最优运行方式，根据实需冷负荷量的变化进行自动循环运行，以确保三台冷冻泵组的运行时间相同。一台冷水机组备用，当某台发生故障时，备用泵自动投入运行，同时系统发出声光报警。若因冷负荷量较小，一台机组便能满足供冷要求时，则按照“周期切换”的方式运行；这样，既有效地延长了机组的使用寿命，又降低了机组的维护费用。冷冻水泵则自动根据冷冻机组的变化而变化。

该设备自动化程度高，保护功能齐全。系统设有欠电压、过载、过热、缺相等保护停机功能，并采取了有效的抗干扰措施，系统出现故障后能自动复位。

1. 变频器的选用

根据电动机的参数来选择变频器。冷冻泵配用三相笼型异步电动机，电动机的型号为 Y200L1-2，额定功率为 30kW，额定电压为 380V，额定频率为 50Hz，额定电流为 51.8A，

额定转速为2955r/min。

选用型号为FR-A540-30K-CH变频器，额定输入电压为380V，额定输入频率为50Hz，额定输出容量为43.4kVA，额定电流为57A，过载能力为120%、60s，150%、5s，反时限特性。选用SWP201-TR-T-2-W系列温度变送器两台。变频器主接线如图4-40所示。在连续运行的场合，变频器的额定输出电流和电动机额定电流的关系如下：

$$\frac{Q}{Q_N}=\frac{n}{n_N}=\frac{H}{H_N}=\left(\frac{n}{n_N}\right)^2;\ \frac{P}{P_N}=\left(\frac{n}{n_N}\right)^3 \tag{4-1}$$

式中　Q_N——水泵的额定流量；

P_N——水泵的额定功率；

H_N——水泵的额定压力；

n_N——水泵的额定转速。

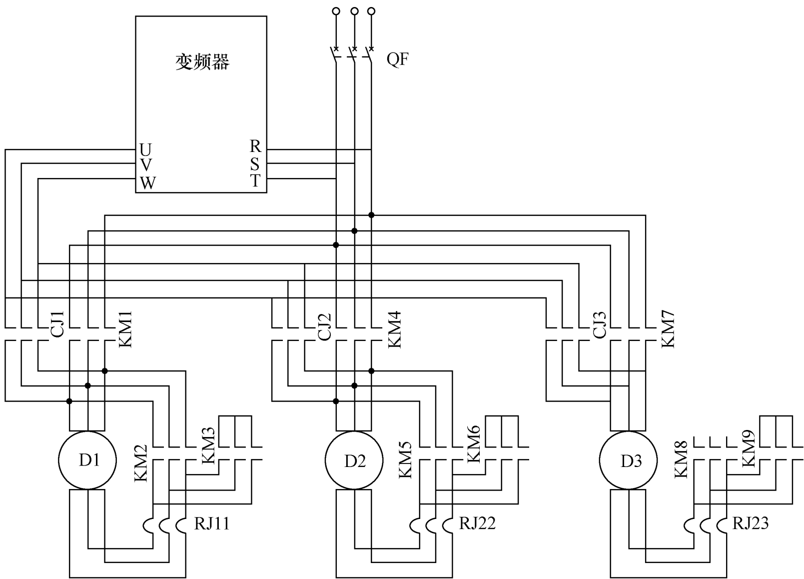


图4-40　变频器主接线

变频器利用本身的PID功能组成的温度闭环控制系统，控制冷冻泵电动机随空调负载的变化而变化，温度控制原理如图4-41所示。图中，感温探头的测量范围为0～50℃，额定工作电压为24V，输出信号为电流信号：4～20mA。测量的温度信号经温度变送器放大处理为4～20mA的电流信号，与设定值进行比较，经PID运算后，调节变频器的输出频率，从而控制冷冻泵的转速。

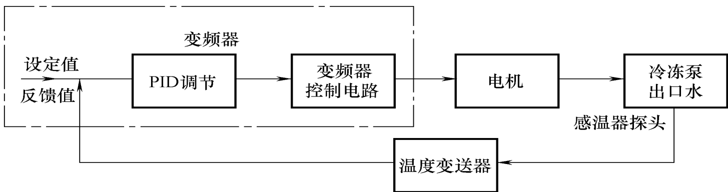


图4-41　温度控制原理图

2. 变频器参数设置

①变频器基本参数设置见表 4-9 所示。

表 4-9　变频器基本参数设置

参数名称	参数号	设定值	参数名称	参数号	设定值
转矩提升	Pr. . 0	6%	电子过电流保护	Pr. . 9	57A
上限频率	Pr. . 1	50Hz	适用负荷选择	Pr. . 14	1
下限频率	Pr. . 2	30Hz	基底频率电压	Pr. . 19	380V
基底频率	Pr. . 3	50Hz	防逆转选择	Pr. . 78	1
加速时间	Pr. . 7	3s	操作模式选择	Pr. . 79	0
减速时间	Pr. . 8	3s	电动机功率	Pr. . 80	30kW
起动频率	Pr. . 13	5Hz	电动机极数	Pr. . 81	2

②端子功能参数定义见表 4-10。

表 4-10　端子功能参数定义

参数号	作　　用	功　　能
Pr. . 183 = 14	将 RT 端子设定为 X14 的功能	RT 端子功能选择
Pr. . 192 = 16	从 IPF 端子输出正反转信号	IPF 端子功能选择
Pr. . 193 = 14	从 OL 端子输出下限信号	OL 端子功能选择
Pr. . 194 = 15	从 FU 端子输出上限信号	FU 端子功能选择

③运行参数设置见表 4-11。

表 4-11　运行参数设置

参数号	作　　用	功　　能
Pr. . 128 = 21	检测值从端子 4 输入	选择 PID 对温度信号的控制
Pr. . 129 = 100	确定 PID 的比例调节范围	PID 的比例范围常数设定，如果比例范围较窄，反馈量的微小变化会引起执行量的很大变化
Pr. . 130 = 10	PID 积分时间	此值设定的小，到达设定值就越快，但容易发生震荡
Pr. . 131 = 100%	设定上限值	若检测值超过此值，就输出 FU 信号，检测值的 4mA 等于 0%，20mA 等于 100%
Pr. . 132 = 0%	设定下限值	若检测值低于此值，就输出 OL 信号，检测值的 4mA 等于 0%，20mA 等于 100%
Pr. . 133 = 100%	PU 模式下设定的 PID 控制设定值（目标值）	仅在 PU 模式（PU/外部组合模式）下对于 PU 指令有效
Pr. . 134 = 3s	PID 的微分时间常数	时间值仅要求向微分作用提供一个与比例作用相同的检测值，随着时间的增加，偏差改变会有较大的响应
Pr. . 902 = 0	频率设定电压偏置	2 ~ 5 间的电压为 0V 时设为 0
Pr. . 903 = 50Hz	频率设定电压增益	2 ~ 5 间的电压为 5V 时设为 50Hz
Pr. . 904 = 0	频率设定电流偏置	4 ~ 5 端子间的电流调至 4mA 时设为 0
Pr. . 905 = 50Hz	频率设定电流增益	4 ~ 5 端子间的电流调至 20mA 时设为 50Hz

3. 运行调试

首先进行脱机调试，即不连接中央空调系统，单纯调试PID控制系统，将4、5端子间的电流调至4mA时，使Pr.904=0 Hz，再将4、5端子间的电流调至20mA时，使Pr.905=50Hz。将感温探头放置在冷冻水出入口，分别输入Pr.904和Pr.905，运行中央空调系统，运行变频器。当冷冻水的回水温度降到设定值9℃时，调校好百分比数为18%，设定下限频率为30Hz；当冷冻水的回水温度升到12℃时，调校好百分比数值为24%，设定上限频率为50Hz，使冷冻泵在冷冻水回水温度为12℃时的运行频率为50Hz。

实例13　西门子ECO变频器拖动疏水泵调速电路

1. ECO变频器特点

智能型MidiMasterECO系列变频器具有以下优点：

①优化的输入/输出功能：6路可编程开关量输入，2路模拟量输入/输出，2路开关量输出。

②自动优化调试过程：仅12个基本参数设定便可以满足供水系统应用。扩展参数还可满足灵活的应用要求。调试简单，维护工作量小。

③完整的电气保护：过电压、欠电压、过电流、电动机缺相、电动机过热、接地故障、电动机堵转、变频器内部故障等。

④采用“软起动、软停止”功能，避免了“水锤现象”，并延长了电动机和水泵使用寿命。

⑤长电缆运行：电动机与变频器的电缆可达150m而不需加输出电抗器。

⑥与管理系统的通信。内置RS485通信口，速率达19200波特率，自控系统可以按照USS协议与几十台变频器采用双绞线实现所有的监控功能。

⑦捕捉再起动。为确保电源故障恢复后的正确自动再起动，电动机仍在运转时，变频器可以快速捕捉到电动机转速，输出与电动机同步的频率，而不会引起系统跳闸。

⑧能耗的优化（ECO）：在达到给定值后，控制系统会自动优化电动机能耗。

⑨内置PID调节器模块：PID调节器与外部传感器连接，可实现精确的流量、压力或温度闭环控制，从而实现恒压、恒流量或恒湿度调节，既保证了工艺要求，也达到了节能效果。

⑩高起动转矩：即使长时间运行后，变频器仍可确保泵类负载稳定运行，加速时，自动提供附加起动转矩。

2. 系统构成

本系统为可编程控制的变频液位控制系统。系统采用可编程序控制器（PLC），可实现手动开环调节、自动闭环调节、远方控制及本地控制。每台电动机设置单独的控制面板，具有液位显示、频率显示、工作状态显示等功能，变频器故障、可编程序控制器故障，可实现声光报警。变频调速器采用西门子公司产品，可实现电动机的平滑调节，变频调速器加装交流电抗器及直流电抗器，确保变频调速器电源侧谐波分量小于5%。系统控制如图4-42所示。系统主电路如图4-43所示。

（1）自动闭环控制过程　当系统处于自动调节状态时，自动控制指示灯亮，系统进入自动控制状态。系统由液位传感器作为系统的反馈信号，反馈信号采取4~20mA电流信号，

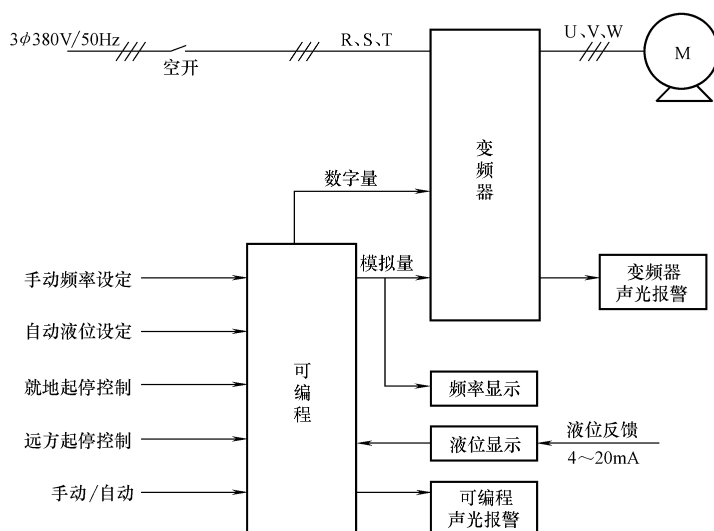


图 4-42　系统控制框图

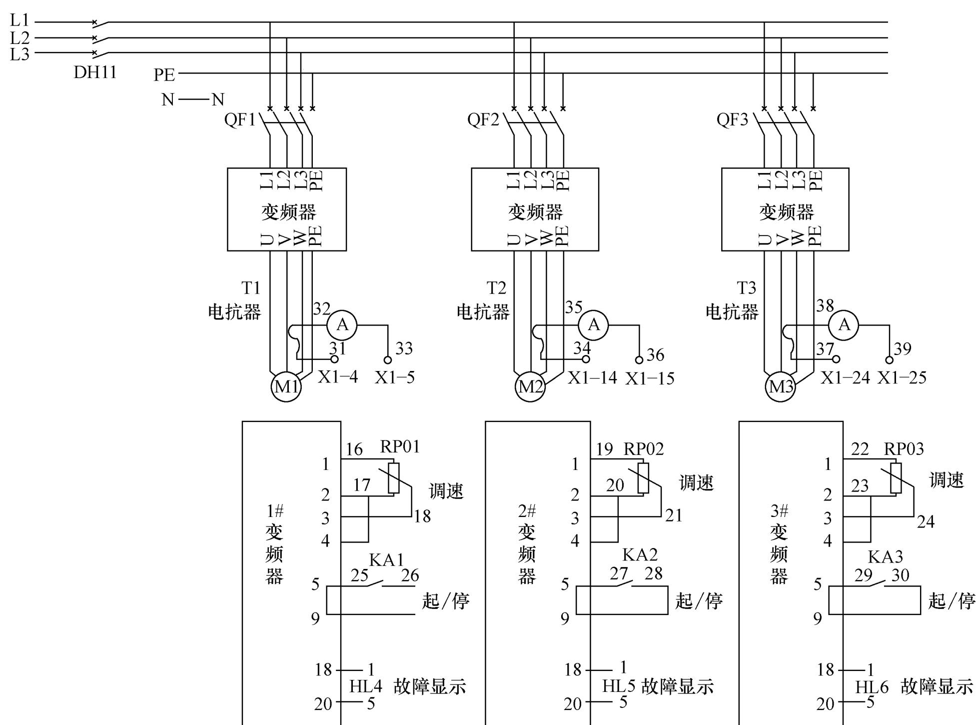


图 4-43　系统主电路

恒液位值的设定可在可编程序控制器（PLC）中人工设定，通过使用ECO变频器内部的PID控制功能，起动水泵作变频调节运行，并达到恒定的液位值，形成一个动态平衡过程。若设定液位值为Y0，过程液位值为Yi，当用水量增加Yi < Y0时，则变频器输出频率上升，转速提高，供水量增大，达到恒定的设定液位值，从而形成一个新的动态平衡过程，实现系统的自动控制功能。

（2）手动开环控制过程　此系统也可进行手动开环调节运行，如液位传感器出现故障时，人为将手动/自动开关置于手动位置，系统处于手动调节状态，手动控制指示灯亮，可在控制面板实现频率（液位）手动设定，起动变频水泵。如所需液位值低于实际液位值时，可人为调整变频调速器的输出频率，达到所需的液位值。

（3）辅助功能

①就地起停功能及指示功能：当系统处于就地控制状态时，就地控制指示灯亮，可在面板处控制系统起停及相关调节。

②远方起停功能及指示功能：当系统处于远方控制状态时，远方控制指示灯亮，可由远方信号控制系统起停及相关设定。

③报警显示：当变频调速器出现故障和可编程序控制器（PLC）出现故障时，控制面板上会有相应的报警显示。

④报警解除功能：当系统出现报警时，可利用此功能来解除。

变频器主要参数设置见表4-12。

表4-12　变频器主要参数设置

参数	参数值	说明	参数	参数值	说明
自动方式设置			手动方式设置		
P006	1	选择模拟设定值	P006	0	选择数字电动电位计
P007	0	从端子选择启/停	P007	0	从端子选择启/停
P012	15	最低频率为15Hz	P055	11	用端子16增加频率
P201	1	PID使能	P056	12	用端子17减少频率
P202	1	PID比例增益（参考值）			
P203	0.02	PID积分增益（参考值）			
P220	1	最低频率下关断			
P211	20	选择4～20mA模拟PID输入			
P212	100				

实例14　西门子MM440变频器拖动给水泵调速电路

本系统采用MICROMASTER440系列变频器，具有两路模拟量输入和内置PID的调节功能，通过变频器、水压、流量检测控制装置，PLC构成自动恒压给水系统。在设计中应用模拟量信号输入1，作为水的压力反馈信号（4～20mA），模拟量信号输入2，作为主给定信号（0～20mA）。通过I/O端子起、停及观察变频器的工作状态，并启用变频器内部的PID控制功能，可提高了控制精度，减少了外部故障点，并充分发挥了MM440系列变频器的PID及模拟量输入功能，系统原理如图4-44所示。

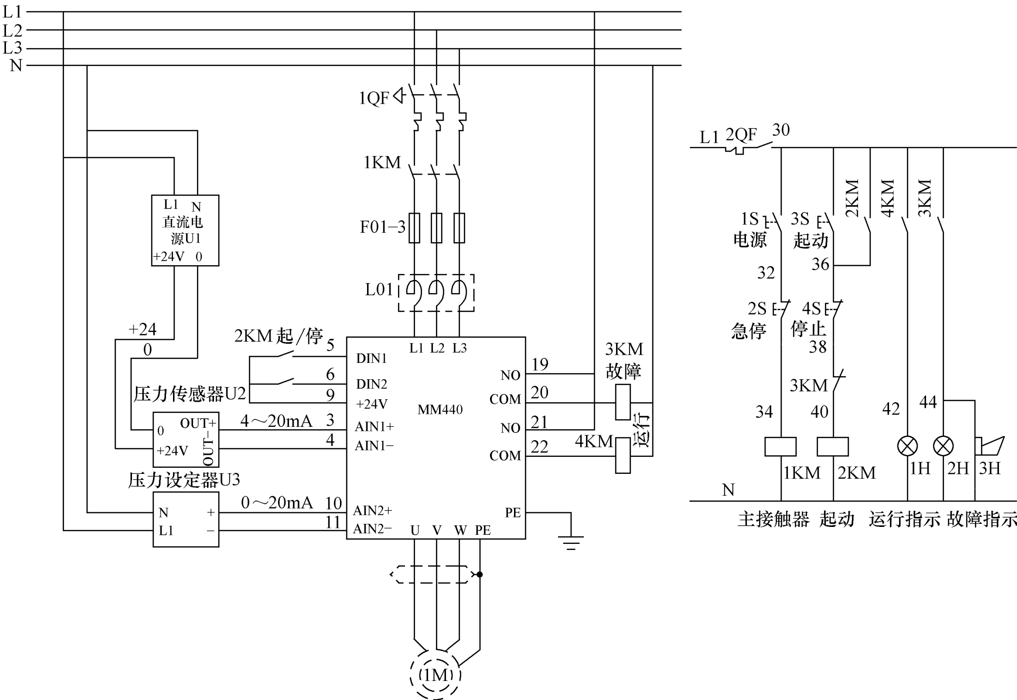


图 4-44　系统原理图

变频器的主要参数设置

（1）电动机及控制参数　电动机及控制参数设置见表 4-13。

表 4-13　电动机及控制参数设置

P304 = 380	P307 = 4. 0	P311 = 2180	P1120 = 10	P1300 = 2
P305 = 7. 80	P310 = 50	P1082 = 50	P1121 = 10	

（2）模拟量 I/O 参数　模拟量 I/O 参数设置见表 4-14。

表 4-14　模拟量 I/O 参数设置

P753. 0 = 5	P756. 0 = 2	P757. 0 = 4	P757. 1 = 0	P1000 = 7
P753. 1 = 5	P756. 1 = 2	P761. 0 = 4	P761. 1 = 0	

（3）数字量 I/O 参数　数字量 I/O 参数设置见表 4-15。

表 4-15　数字量 I/O 参数设置

P700 = 2	P701 = 1	P731 = 52. 3	P732 = 52. 2

（4）PID 参数　PID 参数设置见表 4-16。

表 4-16　PID 参数设置

P2200 = 1	P2253 = 755. 1	P2257 = 1. 00	P2258 = 1. 00
P2261 = 0. 2	P2264 = 755. 0	P2265 = 0. 3	P2270 = 0
P2271 = 0	P2274 = 0	P2280 = 3	P2285 = 0. 4

MM440内置PI调节器可实现闭环控制，一旦PI调节器使能（P2200=1），PI调节器将调节电动机的电源频率来使PI调节器设定值和反馈值的偏差减少，通过不断比较反馈和给定来确定电动机所需要的频率。通常频率给定（P1000选择）和斜坡时间（P1120~P1121）自动取消，但最小和最大输出频率（P1080~P1082）设定保持有效。

PI调节器使能用参数P2200控制，PI调节器使能时应设为1。也可以用一个开关量输入（或另外的BiCo功能）来使能PI调节器，例如：PI调节器用DIN2来使能，设置P0702=99，P2200=722.1。这样变频器不运行时，允许用户在频率控制和PI调节器控制之间切换。PI控制器需要一个反馈信号来监控系统的运行，在大多数的场合，这需要一个模拟量的检测元件。

传感器信号和PI控制器输出的关系必须事先定义，P2271参数有两种设置：0、1。两者的不同在于：对于一个正偏差信号（反馈低于给定），PI控制器是升高输出频率还是降低输出频率。

PI控制器通过比较实际反馈信号和系统预期设定来控制变频器的频率，系统预期被定义为给定，用户可通过参数P2253来选择给定源。MM440只有一个模拟量输入口，且大多数情况下此口已作为反馈信号，所以通常给定只能使用内部设定。用“固定PI给定”或“键盘给定”（电动电位器），应该注意的是给定值是%值而不是Hz，而变频器运行频率是由PI的给定和反馈的差决定（当PI控制器有效时）。

①P2253=2224固定给定：这种方法允许用户用P2201到P2207定义7个给定，通常可以用开关量输入来切换，P2201描述了切换的方法。

②P2253=2250键盘（电动电位器）给定：这种方式允许用户在P2240中设定一个固定值，并可通过BOP或其他方式来升高或减低给定（如：开关量输入P0702=13升高；P0702=14降低）。

当PI控制器用参数P2200使能后，普通斜坡上升和下降时间（P1120和P1121）被旁路。PI有自己的斜坡上升和下降时间：P2257和P2258来决定PI给定的变化。上升时间P2257：当PI给定改变或加上一个运行命令时将有效。下降时间P2258：只当PI给定改变时将有效。当OFF1和OFF3有效时，斜坡下降时间将由P1121和P1135来响应。

可以通过调整比例增益P参数P2280和积分时间I参数P2285，使PI控制器适合过程控制的要求。过程控制的需求决定了响应的最佳特性，快速恢复的响应伴随着大超调。调节P参数和I参数可以得到不同的响应。

当优化调试一个过程控制时，应用示波器来监视反馈信号，观察系统的响应曲线。模拟量输出可用作P0771=2266（滤波后的反馈信号）。大多数情况下，在没有PI斜坡时间（P2257=P2258=0.0S）的情况下，用一个小的PI给定阶跃（1%~10%）来试验系统的响应。一旦理想的响应确定下来，再设定合适的斜坡时间。

应在小比例（例如P2280=0.20）下调整I参数，直到系统稳定。通常，通过PI参数调整可以实现稳定的控制。如果系统容易受到冲击扰动，不要将P参数设置值大于0.50。

（5）PID调试方法　在完成“快速调试”和电动机参数自动识别后，可由操作器或端子控制变频器运行。在设定PID有效（即P2200=1）之前，必须先带负载进行开环小给定运行。这时应注意电动机和负载是否正常、标定反馈模拟量输入通道（系数和极性）。

然后设定PID有效（即P2200=1），将I积分参数（P2285）设置为0。在观察压力表

或输出频率表的同时，缓慢逐渐的从小到大调整 P 比例参数（P2280）值。调整过程中，参数值每加大一次，都要观察变频器是否以达到稳态；变频器稳定运行时，压力是否稳定（设否振荡、波动）。当变频器稳定运行、压力开始波动时，记下此时的 P 参数值 A。将 A 值除以 3，结果写入 P2280 参数中。同理，在观察压力表或输出频率表的同时，缓慢逐渐的从小到大调整 I 积分参数（P2285）值。当变频器稳定运行、压力开始波动时，记下此时的 I 参数值 B。将 B 值除以 2，结果写入 P2285 参数中。

在调整 PID 调节器 PI 参数时，不要进行电动机切换操作。推荐先将压力给定（PID 的给定值）设定在一个预定值，保证变频器运行于 40Hz 左右，这时进行上述调整。等 PI 参数完成调整后，在将压力给定设置到正常需要值，完成电动机分级切换程序调整。

（6）控制方式选择　变频器提供的控制方式有 U/f 控制、矢量控制、力矩控制。U/f 控制中有线性 U/f 控制、抛物线特性 U/f 控制。将变频器参数 P1300 设为 0，变频器工作于线性 U/f 控制方式，将使调速时的磁通与励磁电流基本不变。适用于工作转速不在低频段的一般恒转矩调速对象。

将 P1300 设为 2，变频器工作于抛物线特性 U/f 控制方式，这种方式适用于水泵类负载。这类负载的轴功率近似地与转速的 3 次方成正比。其转矩近似地与转速的平方成正比。对于这种负载，如果变频器的 U/f 特性是线性关系，则低速时电动机的可用转矩远大于负载转矩，从而造成功率因数和效率的严重下降。为了适应这种负载的需要，使电压随着输出频率的减小以平方关系减小，从而减小电动机的磁通和励磁电流，使功率因数保持在适当的范围内。

可以进一步通过设置参数使 U/f 控制曲线适合负载特性，将 P1312 在 0～250 之间设置合适的值，具有起动提升功能。将低频时的输出电压相对于线性的 U/f 曲线作适当的提高，以补偿在低频时定子电阻引起的压降导致电动机转矩减小的问题。适用于大起动转矩的调速对象。

采用变频器 U/f 控制方式驱动电动机时，在某些频率段，电动机的电流、转速会发生振荡，严重时系统无法运行，甚至在加速过程中出现过电流保护，使得电动机不能正常起动，在电动机轻载或转矩惯量较小时更为严重。可以根据系统出现振荡的频率点，在 U/f 曲线上设置跳转点及跳转频带宽度。当电动机加速时可以自动跳过这些频率段，保证系统能够正常运行。从 P1091～P1094 可以设定 4 个不同的跳转点，设置 P1101 确定跳转频带宽度。

有些负载在特定的频率下需要电动机提供特定的转矩，用可编程的 U/f 控制，对应设置变频器参数即可得到所需控制曲线。设置 P1320、P1322、P1324 确定可编程的 U/f 特性频率坐标，对应的 P1321、P1323、P1325 为可编程的 U/f 特性电压坐标。

参数 P1300 设置为 20，变频器工作于矢量控制。这种控制相对完善，调速范围宽，低速范围起动力矩高，精度高达 0.01%，响应很快，高精度调速都采用 SVPWM 矢量控制方式。

参数 P1300 设置为 22，变频器工作于矢量转矩控制。这种控制方式是目前国际上最先进的控制方式，其他方式是模拟直流电动机的参数，进行保角变换而进行调节控制的，矢量转矩控制是直接取交流电动机参数进行控制，控制简单，精确度高。

（7）快速调试　在使用变频器驱动电动机前，必须进行快速调试。将参数 P0010 设为 1、P3900 设为 1，变频器即进行快速调试，快速调试完成后，进行了必要的电动机数据的计

算，并将其他所有的参数恢复到它们的缺省设置值。在矢量或转矩控制方式下，为了正确地实现控制，非常重要的一点是，必须正确地向变频器输入电动机的数据，而且，电动机数据的自动检测参数P1910必须在电动机处于常温时进行。当使能这一功能（P1910 = 1）时，会产生一个报警信号A0541，给予警告，在接着发出ON命令时，立即开始电动机参数的自动检测。

（8）加减速时间调整　加速时间就是输出频率从0上升到最大频率所需时间，减速时间是指从最大频率下降到0所需时间。加速时间和减速时间选择的合理与否，对电动机的起动、停止、运行及调速系统的响应速度都有重大的影响。加速时间设置的约束是将电流限制在过电流范围内，不应使过电流保护装置动作。电动机在减速运转期间，变频器将处于再生发电制动状态。传动系统中所储存的机械能转换为电能，并通过逆变器将电能回馈到直流侧。回馈的电能将导致中间回路的储能电容器两端电压上升。因此，减速时间设置的约束是防止直流电路电压过高。加减速时间计算公式为

加速时间

$$t_a = (j_m + j_l)n/9.56(M_{ma} - M_l) \tag{4-2}$$

减速时间

$$t_b = (j_m + j_l)n/9.56(M_{mb} - M_l) \tag{4-3}$$

式中　j_m——电动机的惯量；

j_l——负载惯量；

n——额定转速；

M_{ma}——电动机驱动转矩；

M_{mb}——电动机制动转矩；

M_l——负载转矩。

加减速时间可根据公式算出来,也可用简易试验方法进行设置。首先,使拖动系统以额定转速运行(工频运行),然后切断电源,使拖动系统处于自由制动状态,用秒表计算其转速从额定转速下降到停止所需要的时间。加减速时间可首先按自由制动时间的1/2～1/3进行预置。通过起、停电动机观察有无过电流、过电压报警,调整加减速时间设定值,以运转中不发生报警为原则,重复操作几次,便可确定出最佳加减速时间。

(9)转动惯量设置　电动机与负载转动惯量的设置往往被忽视,认为加减速时间的正确设置可保证系统正常工作。其实,转动惯量设置不当会使得系统振荡,调速精度也会受到影响。转动惯量

$$j = M/\mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t \tag{4-4}$$

式中:M为额定转矩。

电动机与负载转动惯量的获得方法一样,让变频器工作频率在合适的值。分别让电动机空载和带载运行,读出参数P0333额定转矩和P0345电动机的起动时间,再将变频器工作频率换算成对应的角速度,代入公式,计算得出电动机与负载转动惯量。设置参数P0341(电动机的惯量)与参数P0342(驱动装置总惯量/电动机惯量的比值),这样变频器就能更好的运行。

第 5 章　PLC 控制电动机电路

实例 1　PLC 控制电动机单向点动电路

生产机械连续不断地工作，称为连续运行，而所谓点动，即按下按钮时，电动机起动工作，松开按钮，电动机停止工作。电动机单向点动控制电路如图 5-1 所示。

当按下点动起动按钮 SB 时→接触器 KM 得电吸合→KM 主触头闭合→电动机得电起动运行。当手松开 SB 时→接触器 KM 失电释放→KM 主触头断开→电动机失电停止运行。电动机转动时间由按钮按下时间决定。采用 PLC 控制的电动机单向点动输入/输出（I/O）接线如图 5-2 所示。

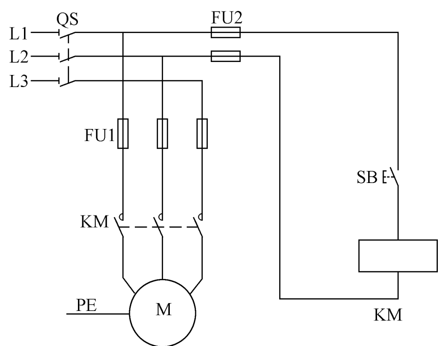
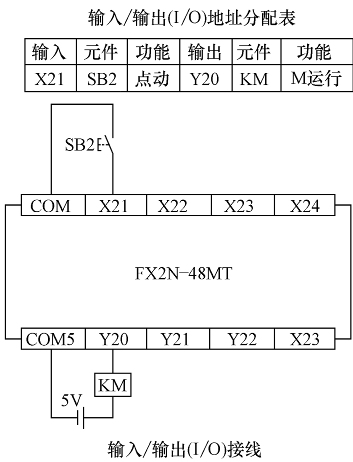


图 5-1　电动机单向点动控制电路


输入/输出(I/O)地址分配表

输入	元件	功能	输出	元件	功能
X21	SB2	点动	Y20	KM	M运行

图 5-2　PLC 控制的输入/输出（I/O）接线

在断电状态下，按图 5-2 所示接线图接线，连接好外部电缆。打开 PLC 的前盖，将运行模式选择开关拨到“STOP”位置。在作为编程器的 PC 上，运行 FXGPWIN 编程软件。

用菜单命令“文件→新建”，生成一个新项目，或者用菜单命令“文件→打开”，打开一个已有的项目。或者用菜单命令“文件→另存为”，可修改项目的名称。用菜单命令“PLC→类型”，设置 PLC 的型号；设置通信参数；编写 PLC 控制程序。

1. 电动机单向点动控制参考程序（一）

使用 LD（取指令）直接控制 OUT（线圈驱动指令）来实现单向点动控制功能的梯形图，如图 5-3 所示。电动机单向点动控制参考程序如图 5-4 所示。

2. 电动机单向点动控制参考程序（二）

SET 指令称为置位指令，其功能为驱动线圈输出，使动作保持，具有自锁功能。当 X21 = ON 时，Y20 置位；当 X21 = OFF 时，Y20 动作保持，即 Y20 = ON，如图 5-5 所示。

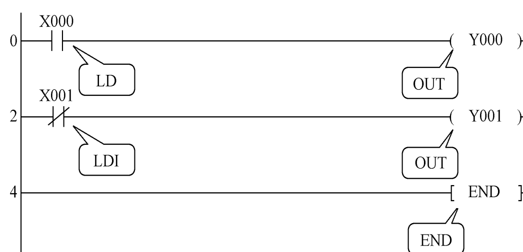


图5-3 使用LD直接控制OUT梯形图

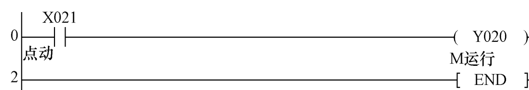


图5-4 电动机单向点动参考程序

RST指令称为复位指令：功能为清除所驱动的软元件保持动作，以及寄存器的清零，如图5-6所示。当X22=ON时，Y20复位，即Y20=OFF。

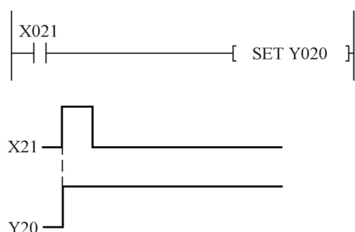


图5-5 SET指令驱动线圈输出梯形图

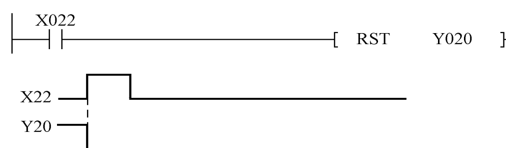


图5-6 RST指令清除所驱动的软件保持动作梯形图

LDP取脉冲上升沿：与左母线连接的常开触头的上升沿检测指令，仅在指定位元件的上升沿（由OFF→ON）时接通一个扫描周期。

LDF取脉冲下降沿：与左母线连接的常开触头的下降沿检测指令，仅在指定位元件的下降沿（由ON→OFF）时接通一个扫描周期。

当X21=ON时，仅在X21由OFF→ON的上升沿时接通一个扫描周期，Y20=ON的时间为一个扫描周期，一个扫描周期默认时间为200ms，时间若太短，通过监控无法看到Y20=ON，如图5-7所示。

使用LDP指令（取脉冲上升沿）及SET指令（置位指令）使Y20动作保持；使用LDF指令（取脉冲下降沿）及RST指令（复位指令）使Y20动作复位。电动机单向点动控制参考程序如图5-8所示。

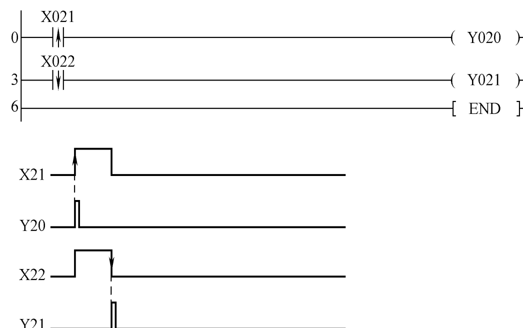


图5-7 LDP、LDF指令运行梯形图

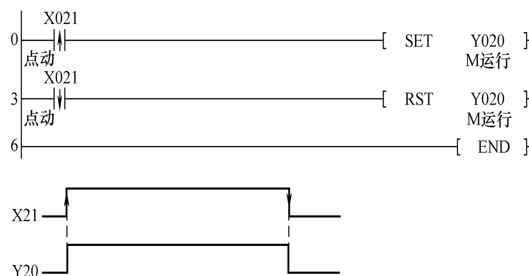


图5-8 LDP、LDF指令运行参考程序

下载编制的电动机单向点动 PLC 控制程序文件到 PLC，将运行模式选择开关拨到“RUN”位置，使 PLC 进入运行方式。按下点动按钮 SB2，观察电动机是否起动运行。如果电动机能够起动运行，则起动程序正确。

实例 2　PLC 控制电动机一个按钮起停电路

在生产实际中由于条件限制，需要使用一个按钮来控制电动机的连续运行和停车，即第一次按下按钮电动机连续运行，再次按下按钮电动机停车。一个按钮控制的电动机起停电路如图 5-9 所示。

采用 PLC 控制的一个按钮控制电动机起停输入/输出（I/O）接线如图 5-10 所示。在断电状态下，按图 5-10 所示接线，连接好外部电缆。打开 PLC 的前盖，将运行模式选择开关拨到“STOP”位置。在作为编程器的 PC 上，运行 FXGPWIN 编程软件。

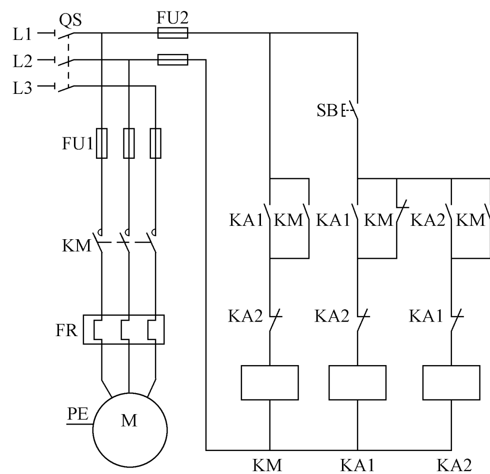


图 5-9　一个按钮控制电动机运行和停止电路

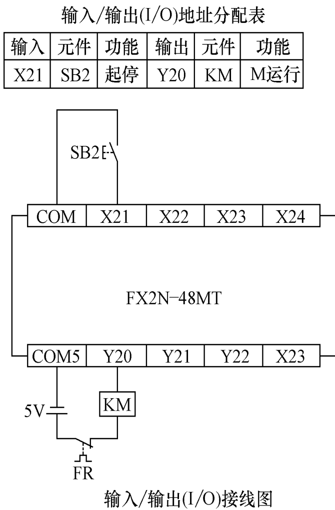


图 5-10　PLC 控制的输入/输出（I/O）接线

用菜单命令“文件→新建”，生成一个新项目，或者用菜单命令“文件→打开”，打开一个已有的项目。或者用菜单命令“文件→另存为”，可修改项目的名称。用菜单命令“PLC→类型”，设置 PLC 的型号；设置通信参数；编写 PLC 控制程序，下载、编制一个按钮控制电动机起停控制程序文件到 PLC。

将运行模式选择开关拨到“RUN“位置，使 PLC 进入运行方式。按下按钮 SB2，观察电动机是否起动运行，松开 SB2 后，电动机是否能够连续运行。如果电动机能够连续运行，则起动程序正确。再次按下按钮 SB2，观察电动机是否能够停车。如果电动机能够停车，则停止程序正确。再次按下按钮 SB2，如果系统能够重新起动运行，并能再次按下按钮 SB2 后停车，则程序调试结束。

1. 一个按钮控制电动机起停参考程序（一）

采用 PLC 控制的一个按钮控制电动机起停参考程序（一）如图 5-11 所示。该编程方法属于 PLC 逻辑编程法；0～4 语句是为了使 M0 产生一个周期的脉冲，5～10 语句的逻辑关系式：

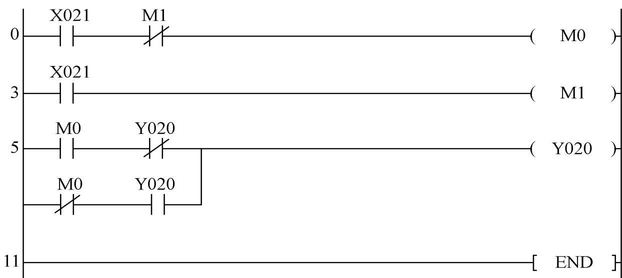


图5-11　一个按钮控制电动机起停参考程序（一）

$$M0 \cdot \overline{Y20} + \overline{M0} \cdot Y20 = Y20$$

当M0产生一个周期的脉冲时（此时的Y20没有输出）：

$\because$ M0 = 1；Y20 = 0

$\therefore 1 \cdot \overline{0} + \overline{1} \cdot 0 = 1 \cdot 1 + 0 \cdot 0 = 1$

$\therefore$ Y20有输出

当M0产生完一个周期的脉冲后：

$\because$ M0 = 0；Y20 = 1

$\therefore 0 \cdot \overline{1} + \overline{0} \cdot 1 = 0 \cdot 0 + 1 \cdot 1 = 1$

$\therefore$ Y20保持输出

现在Y20为1，如果再次按下SB2按钮，M0又产生一个周期的脉冲

$\because$ M0 = 1；Y20 = 1

$\therefore 1 \cdot \overline{1} + \overline{1} \cdot 1 = 1 \cdot 0 + 0 \cdot 1 = 0$

$\therefore$ Y20停止输出

当M0产生完一个周期的脉冲后：

$\because$ M0 = 0；Y20 = 0

$\therefore 0 \cdot \overline{0} + \overline{0} \cdot 0 = 0 \cdot 1 + 1 \cdot 0 = 0$

$\therefore$ Y20停止输出

2. 一个按钮控制电动机起停参考程序（二）

采用PLC控制的一个按钮控制电动机起停参考程序（二）如图5-12所示。程序中用PLS（上升沿微分输出指令）产生一个周期的脉冲。

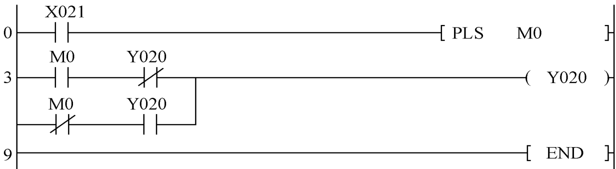


图5-12　一个按钮控制电动机起停参考程序（二）

3. 一个按钮控制电动机起停参考程序（三）

一个按钮控制电动机起停参考程序（三）如图5-13所示。当X21由OFF变为ON时，Y20的状态变化一次；必须使用脉冲执行方式，否则当X21为ON时，Y20随着扫描周期将反复变化。

4. 一个按钮控制电动机起停参考程序（四）

采用PLC控制的一个按钮控制电动机起停参考程序（四）如图5-14所示。ALTP为脉

冲执行型交替输出指令。在 X21 为 ON 的第一个扫描周期，Y20 变化一次，直到 X21 再次为 ON 时，Y20 才再次变化。

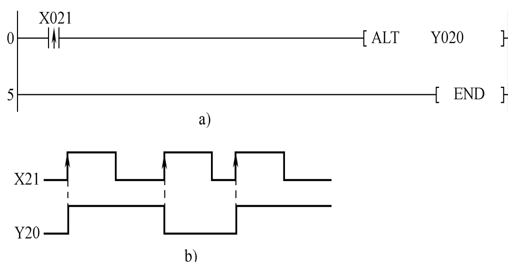


图 5-13 一个按钮控制电动机起停参考程序（三）
a）参考程序 b）时序图

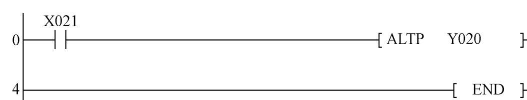


图 5-14 一个按钮控制电动机起停参考程序（四）

实例 3 PLC 控制电动机点动、连续正转电路

1. PLC 控制电动机点动、连续正转电路（一）

在生产实际中，有的生产机械既需要连续控制，又需要点动控制。点动与连续的主要区别是控制电器能否自锁，点动控制加入自锁后就可以连续运行。如需要在连续状态和点动状态两者间进行选择时，须采用联锁电路。电动机点动、连续正转控制电路如图 5-15 所示。

当按下连续起动按钮 SB1 时→接触器 KM 得电吸合→KM 主触头闭合→电动机得电起动运行。当手松开 SB1 时→接触器 KM 的辅助常开触头自锁→电动机连续运行。

当按下点动起动按钮 SB2 时→接触器 KM 得电吸合，复合按钮 SB2 常闭断开自锁回路→KM 主触头闭合→电动机得电起动运行。当手松开 SB2 时→因 KM 不能自锁，接触器 KM 失电释放→KM 主触头断开→电动机失电停止运行。电动机运行时间由按钮按下时间决定。

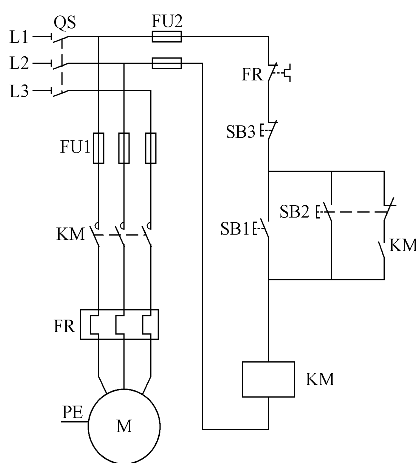


图 5-15 电动机点动、连续正转控制电路

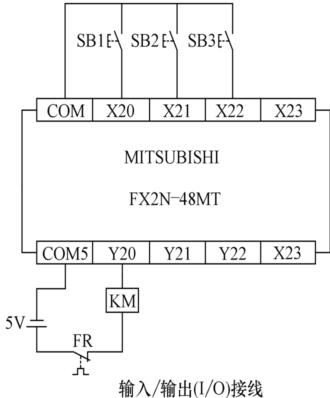
采用 PLC 控制的电动机点动、连续正转输入/输出（I/O）接线如图 5-16 所示。在断电状态下，按图 5-16 所示接线，连接好外部电缆。打开 PLC 的前盖，将运行模式选择开关拨到“STOP”位置。在作为编程器的 PC 上，运行 FXGPWIN 编程软件。

用菜单命令“文件→新建”，生成一个新项目，或者用菜单命令“文件→打开”，打开一个已有的项目。或者用菜单命令“文件→另存为”，可修改项目的名称。

用菜单命令“PLC→类型”，设置 PLC 的型号；设置通信参数；编写 PLC 控制程序，下载编制的电动机点动、连续正转控制程序文件到 PLC。将运行模式选择开关拨到“RUN”位置，使 PLC 进入运行方式。

按下连续起动按钮SB1，观察电动机是否起动运行，松开SB1后，电动机是否能够连续运行。如果电动机能够连续运行，则起动程序正确。按下停止按钮SB3，观察电动机是否能够停车。如果电动机能够停车，则停止程序正确。按下点动起动按钮SB2，观察电动机是否起动运行，松开SB2后，电动机是否能够停车。如果电动机能够点动运行，则起动程序正确。

当电动机连续运行时，按下点动起动按钮SB2，再松开SB2后，电动机是否能够停车。如果电动机能够点动后停车，则起动程序正确。再次按下连续起动按钮SB1，如果系统能够重新起动运行，并能在按下停止按钮后停车，则程序调试结束。


输入/输出(I/O)地址分配表

输入	元件	功能	输出	元件	功能
X20	SB1	连续	Y20	KM	M运行
X21	SB2	点动			
X22	SB3	停止			

图5-16 PLC控制的输入/输出（I/O）接线

（1）电动机点动和连续正转参考程序（一）

PLC的通用辅助继电器（M0～M499）和继电器控制电路中的中间继电器很相似，不同之处是M为PLC内的软元件，而且常开、常闭触头可无限次使用；Y20得电的条件是：点动按钮发信，即X21常开闭合；

通用辅助继电器M1线圈得电，即M1常开闭合；M1得电的条件是：连续起动按钮发信即X20常开闭合；M1自锁，即实现电动机连续运行；M1失电的条件是：停止按钮发信，即X22常闭断开；点动按钮发信，即X21常闭断开，PLC控制的电动机点动、连续正转参考程序（一）如图5-17所示。

（2）电动机点动和连续正转参考程序（二）

Y20得电的条件是：点动按钮发信，即X21常开闭合；通用辅助继电器M1线圈得电，即M1常开闭合；M1置位的条件是：连续起动按钮发信即X20常开闭合；M1复位的条件是：停止按钮发信，即X22常闭断开；点动按钮发信，即X21常闭断开。PLC控制的电动机点动、连续正转参考程序（二）如图5-18所示。

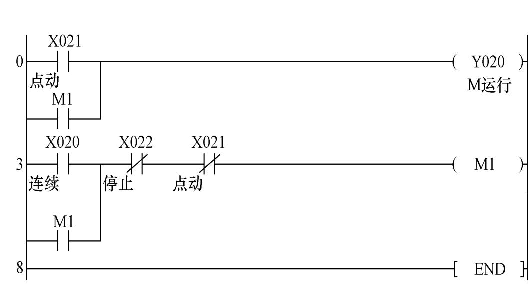


图5-17 电动机点动和连续正转参考程序（一）

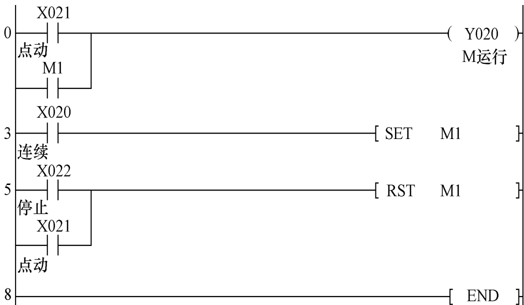


图5-18 电动机点动和连续正转参考程序（二）

2. PLC 控制电动机点动连续正转电路（三）

在生产实践过程中，某些生产机械常要求既能正常起动，又能实现调整位置的点动工作。图 5-19 所示为几种常用的继电器—接触器系统实现的控制电路。

图 5-19a 为主电路，工作时：合上刀开关 QS-三相交流电经过 QS-熔断器 FU-接触器 KM 主触头-热继电器 FR 至三相交流电动机。

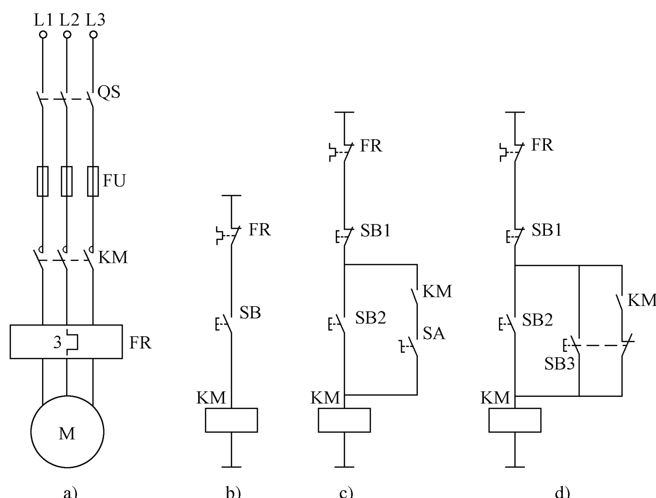


图 5-19　异步电动机控制电路

图 5-19b 为最简单的点动控制电路。起动按钮 SB 没有并联接触器 KM 的自锁触头，按下 SB，KM 线圈通电，松开按钮 SB 时，接触器 KM 线圈又失电，其主触头断开，电动机停止运转。

图 5-19c 是带手动开关 SA 的点动控制电路。当需要点动控制时，只要把开关 SA 断开，由按钮 SB2 来进行点动控制。当需要正常运行时，只要把开关 SA 合上，将 KM 的自锁触头接入，即可实现连续控制。

图 5-19d 中增加了一个复合按钮 SB3 来实现点动控制。需要点动运行时，按下 SB3 点动按钮，其常闭触头先断开自锁电路，常开触头闭合后接通起动控制电路，KM 接触器线圈得电，主触头闭合，接通三相电源，电动机起动运转。当松开点动按钮 SB3 时，KM 线圈失电，KM 主触头断开，电动机停止运转。

若需要电动机连续运转，由停止按钮 SB1 及起动按钮 SB2 控制，接触器 KM 的辅助触头起自锁作用。

（1）可编程序控制器的硬件连接　实现电动机的点动及连续运行所需的元器件有：起动、点动按钮 SB1，停止按钮 SB2，交流接触器 KM，热继电器 JR 及刀开关 QS 等。由 PLC 控制的主电路的接线如图 5-20 所示。由图 5-20 可知，起动按钮 SB1 接于 X0，停止按钮接于 X1，热继电器常开触头接于 X2，交流接触器接于 Y0。

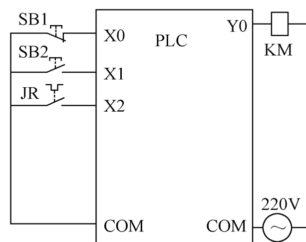


图 5-20　输入/输出接线图

（2）梯形图设计　PLC 的基本逻辑控制功能是基于继电

器-接触器控制系统而设计的，而控制功能的实现是由应用程序来完成的，而用户程序是由使用者根据PLC生产厂家所提供的编程语言，并结合所要实现的控制任务而设计的。梯形图是诸多编程语言中较常用的一种类型，它是以图形符号及图形符号在图中的相互关系表示控制关系的编程语言，是从继电器控制电路图演变而来的。

根据输入/输出接线可设计出异步电动机点动运行的梯形图，如图5-21a所示。工作过程分析如下：当按下SB1时，输入继电器X0得电，其常开触头闭合，因为异步电动机未过热，热继电器常开触头不闭合，输入继电器X2不接通，其常闭触头保持闭合，则此时输出继电器Y0接通，进而接触器KM得电，其主触头接通电动机的电源，则电动机起动运行。当松开按钮SB1时，X0失电，其触头断开，Y0失电，接触头KM断电，电动机停止转动，即本梯形图可实现点动控制功能。

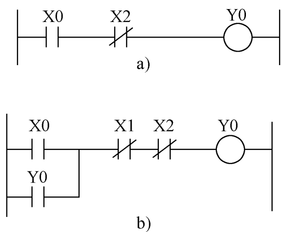


图5-21　电动机控制梯形图

可编程序控制器的优点之一是不改变硬件接线的情况下，通过变更软件设计，可完成不同的控制的任务。图5-21b为电动机连续运行的梯形图，其工作过程分析如下：

当按SB1被按下时，X0接通，Y0置1，这时电动机连续运行。需要停车时，按下停车按钮SB2，串联于Y0线圈回路中的X1的常闭触头断开，Y0置1，电动机失电停车。

梯形图5-21b称为起-保-停电路。这个名称主要来源于图中的自锁触头Y0。并联在X0常开触头上的Y0常开触头的作用是，当钮SB1松开，输入继电器X0断开时，线圈Y0仍然能保持接通状态。工程中把这个触头叫做“自锁触头”。起-保-停电路是梯形图中最典型的单元，它包含了梯形图程序的全部要素：

①事件。每一个梯形图支路都针对一个事件。事件输出线圈（或功能框）表示，本例中为Y0。

②事件发生的条件。梯形图支路中除了线圈外还有触头的组合，使线圈置1的条件既是事件发生的条件，本例中为起动按钮X0置1。

③事件得以延续的条件。触头组合中使线圈置1得以持久的条件，本例中为与X0并联的Y0自锁触头。

④使事件终止的条件。触头组合中使线圈置1中断的条件。本例中为X1的常闭触头断开。

（3）语句表　点动控制即图5-21a所使用到的基本指令有：从母线取用常开触头指令LD；常闭触头的串联指令ANI；输出继电器的线圈驱动指令OUT。而每条指令占用一个程序步，语句表见表5-1。

表5-1　语　句　表

语句步	指　　令	元　　素
0	LD	X0
1	ANI	X2
2	OUT	Y0

连续运行控制即图5-21b所使用到的基本指令有：从母线取用常开触头指令LD；常开触头的并联指令OR；常闭触头的串联指令ANI；输出继电器的线圈驱动指令OUT。语句表

见表 5-2。

表 5-2　语　句　表

语句步	指令	元素	语句步	指令	元素
0	LD	X0	3	ANI	X2
1	OR	Y0	4	OUT	Y0
2	ANI	X1			

3. PLC 控制电动机点动、连续正转电路（四）

电动机点动、连续控制电路如图 5-22 所示。按下起动按钮 SB1，接触器 KM 得电，电动机起动连续运行；按下停止按钮 SB2，接触器 KM 断电，电动机停止运行。按下点动按钮 SB3 电动机点动运行。采用 PLC 的电动机的点动和连续控制的 I/O 地址分配如下：

X0：起动按钮；X1：停止按钮；X2：点动按钮；Y0：电动机接触器。

按照图 5-22 所示电路完成主电路和控制电路的接线，如图 5-23 所示。为了实现点动和连续运行的联锁控制，采用了一个中间继电器 M0 作为连续控制的记忆存储位，用 M0 的常开触头去接通 Y0。要实现点动控制时，必须先断开 M0，故将点动输入的常闭触头串联在 M0 的线圈电路中，梯形图如图 5-24 所示。控制系统调试步骤如下：

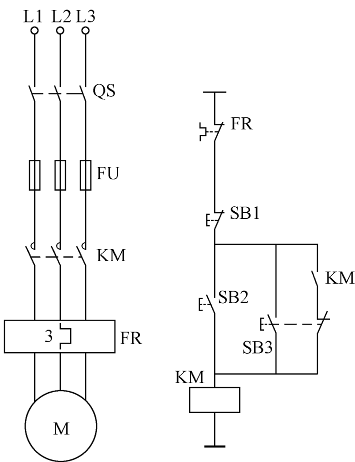


图 5-22　电动机点动和连续控制电路

（1）输入程序

创建一个 FX2N 项目，工程名为“电动机点动和连续控制”。将图 5-24 所示的梯形图输入到项目中。

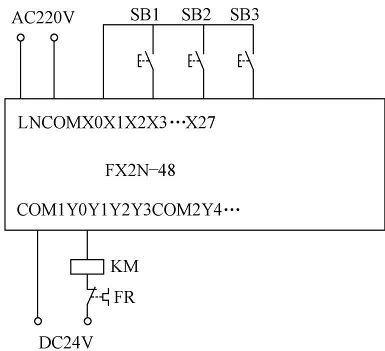


图 5-23　电动机点动和连续控制 I/O 接线

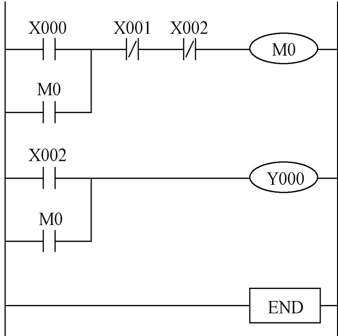


图 5-24　电动机点动和连续控制梯形图

（2）模拟调试

在正确连接好控制电路的情况下，进行 PLC 的模拟调试：按下起动按钮 SB1，Y0 亮，接触器 KM 得电；按下停止按钮 SB2，Y0 熄灭，接触器 KM 断电。按下点动按钮 SB3，Y0

亮，松开SB3，Y0熄灭。观察PLC的输出是否符合控制要求，否则，检查并修改程序，直至指示正确。

（3）负载调试

接入电动机主电路，进行系统的负载调试，观察接触器和电动机是否能够按控制要求动作，否则，检查电路或修改程序，直至满足控制要求。

实例4 PLC控制电动机连续正转控制电路

点动与连续的主要区别是控制电器能否自锁，点动控制加入自锁后就可以连续运行。电动机连续正转的控制电路如图5-25所示。当按下连续起动按钮SB1时→接触器KM得电吸合→KM主触头闭合→电动机得电起动运行。当手松开SB1时→接触器KM辅助常开触头自锁→电动机连续运行。

电动机连续正转采用PLC控制输入/输出（I/O）接线如图5-26所示。在断电状态下，按图5-26所示的接线连接好外部电缆。打开PLC的前盖，将运行模式选择开关拨到“STOP”位置。

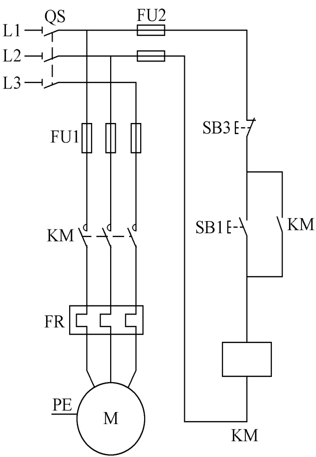
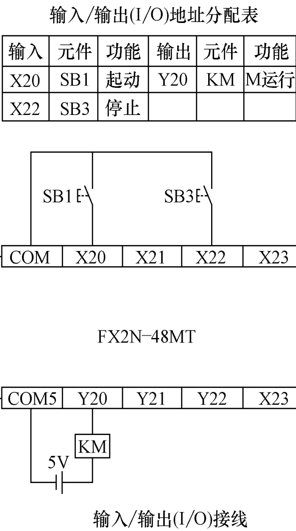


图5-25 电动机连续正转控制电路


输入/输出(I/O)地址分配表

输入	元件	功能	输出	元件	功能
X20	SB1	起动	Y20	KM	M运行
X22	SB3	停止			

图5-26 PLC控制输入/输出（I/O）接线

在作为编程器的PC上，运行FXGPWIN编程软件。用菜单命令“文件→新建”，生成一个新项目，或者用菜单命令“文件→打开”，打开一个已有的项目。或者用菜单命令“文件→另存为”，可修改项目的名称。

用菜单命令“PLC→类型”，设置PLC的型号；设置通信参数；编写PLC控制程序，将编制的PLC控制程序下载到PLC。

将运行模式选择开关拨到“RUN”位置，使PLC进入运行方式。按下起动按钮SB1，观察电动机是否起动运行。如果电动机能够起动运行，则起动程序正确。按下停止按钮SB3，观察电动机是否能够停车。如果电动机能够停车，则停止程序正确。再次按下起动按钮SB1，如果系统能够重新起动运行，并能在按下停止按钮后停车，则程序调试结束。

1. 电动机连续正转控制参考程序（一）

使用 LDX20 控制输出 OUTY20，这样实现了点动控制；使用 OR（或指令）来实现自锁：ORY20；为了能实现停止，在梯形图中串联 X22 常闭，使用到指令 ANI（与非指令）：ANIX22。采用 PLC 控制的电动机连续正转控制参考程序（一）如图 5-27 所示。

2. 电动机连续正转控制参考程序（二）

使用 LDX20、SETY20 使 Y20 动作保持；使用 LDX22 使 RSTY20、Y20 动作复位。采用 PLC 控制的电动机连续正转控制参考程序（二）如图 5-28 所示。

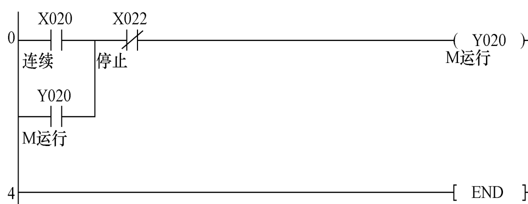


图 5-27　电动机连续正转控制参考程序（一）

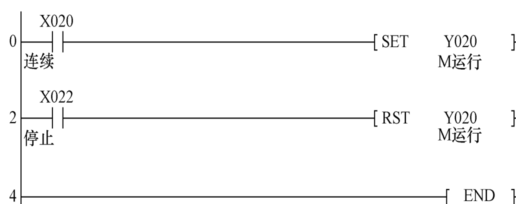


图 5-28　电动机连续正转控制参考程序（二）

实例 5　PLC 控制电动机正、反转控制电路

1. PLC 控制电动机正、反转控制电路（一）

采用继电器-接触器控制系统的电气原理直接翻译成 PLC 的梯形图的编程方法。对于熟悉继电器-接触器控制的人员来说很容易掌握。其基本设计方法和设计步骤如下：

①将检测元件、控制元件（如行程开关、按钮等）合理安排，接入 PLC 的输入口。

②将被控器件（如接触器线圈、电磁阀线圈等）接入 PLC 的输出口。

③与继电器-接触器系统对应，选择 PLC 中功能相同的器件，按接点和器件对应关系画出梯形图。

三相异步电动机正、反接控制电路如图 5-29 所示。如改为 PLC 控制，其 I/O 接线和梯形图分别如图 5-30、图 5-31 所示。

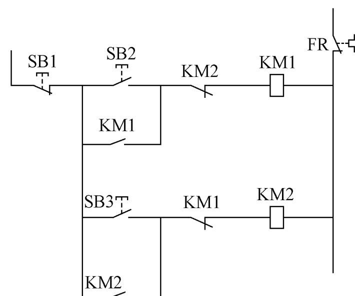


图 5-29　电动机正、反接控制的电路

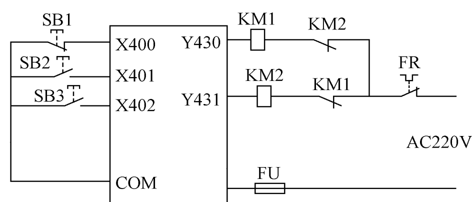


图 5-30　I/O 接线

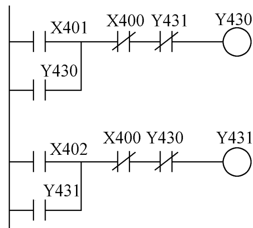


图 5-31　梯形图

由于PLC的工作方式和继电器-接触器控制系统的工作方式不同，将电动机的控制电路直接翻译过来的梯形图还存在一些问题。

在投入应用前，应对PLC程序进行调试，在空载控制功能正常，而在负载运行时，由于正、反转转换时经常产生大电弧，有时甚至发生相间短路，引起断路器跳闸。这表明接触器KM1和KM2存在重合时间。其原因是：在梯形图中，PLC是串行工作方式，在正、反转切换时，接触器的动作有可能跟不上PLC的控制速度，如果两接触器的释放时间和吸合时间配合适当，就可以正常工作，否则容易造成电源短路。又因接触器的释放时间和吸合时间离散性很大，因此，出现了以上的现象。解决这一问题，可以在梯形图中加延时切换，如图5-32所示。

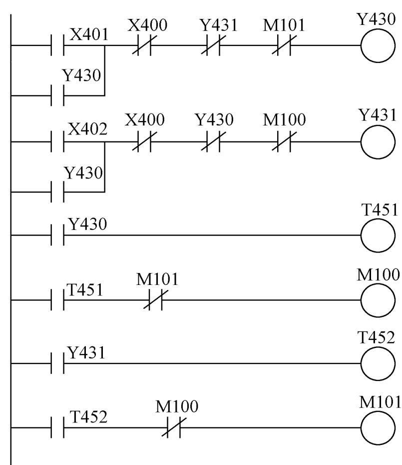


图5-32 加延时切换梯形图

图5-32所示的加延时切换梯形图原理是：按下正转起动按钮SB2，输出继电器Y430接通并自锁，接触器KM1接通，电动机接正序电源运行；同时，定时器T451通电，辅助继电器M100得电。停车时，按下停止按钮SB1，Y430失电，接触器KM1失电，主触头打开，电动机自由停车；同时定时器T451延时5s后，辅助继电器M100失电。按下反转起动按钮SB3，输出继电器Y431才能接通并自锁，交流接触器KM2得电，电动机接负序电源反向运行。

2. PLC控制电动机正反转控制电路（二）

用PLC实现电动机正反转的接线如图5-33所示。定义输入、输出口地址，见表5-3。

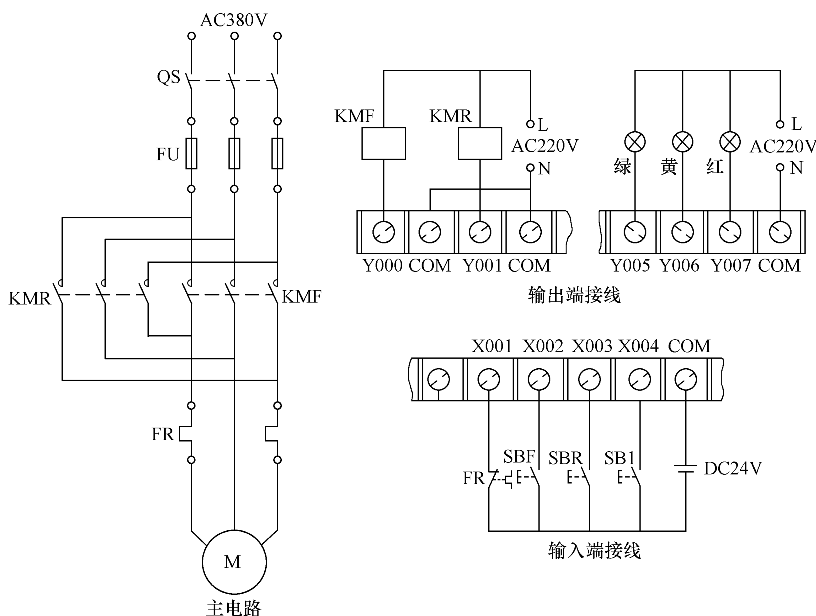


图5-33 交流异步电动机正反转接线图

表 5-3　定义输入、输出口地址

输入口地址	定　　义	输出口地址	定　　义
X001	热继电器	Y000	正转接触器
X002	正转起动按钮	Y001	反转接触器
X003	反转起动按钮	Y005	正转运行指示灯（绿色）
X004	停止按钮	Y006	反转运行指示灯（黄色）
		Y007	停止运行指示灯（红色）

按图 5-33 接线时，先接电动机正、反转的主电路，再接程控器输出端电路。将交流 220V 电源相线接负载（接触器线圈或指示灯等）的一端，负载的另一端接某一输出端口（由输出口地址表指定），该端口的 COM 端接电源中线。最后接程控器输入端电路。全部接线完毕后，仔细查对电路是否正确，并改正接线错误。

把图 5-34 所给出的梯形图，输入到计算机中，在核对无误后下载到 PLC 中。程序下载完毕后，先在负载主电路不通电的情况下试运行程序。用“点监控”方式在计算机显示屏上检查输出点的状态，在未按下按钮时，停止指示灯输出为 ON，其余输出为 OFF；按下正转按钮，观察是否仅有正转接触器及正转指示灯两输出点为 ON，其余为 OFF；按下反转按钮后，是否仅有反转接触器及反转指示灯两输出点为 ON，其余为 OFF。按下停车按钮应恢复到原来状态。在调试中不论按下按钮的先后次序如何，不允许出现正转及反转输出点同时为 ON 的情况。

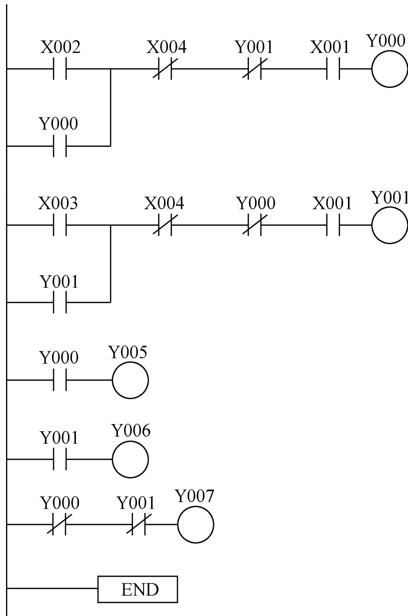


图 5-34　异步电动机正反转控制梯形图

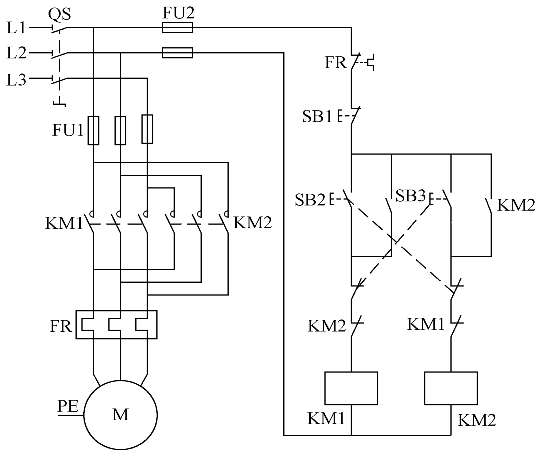


图 5-35　复合联销正、反转控制电路原理

空载调试完成后，再检查一次主电路，检查无误后，方可将主电路交流电源开关合上，进行负载运行，以免造成事故。接通电源后，“停止运行”指示灯（红色）应亮，表示未进

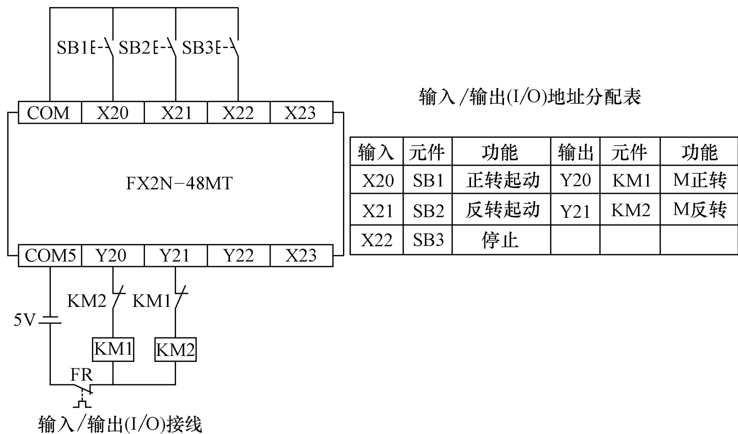
行正转或反转运行，但负载电源已接通。

按下“正转”起动按钮，观察电动机是否旋转（设此方向为正转方向），“正转”指示灯是否亮，“停止运行”指示灯是否熄灭。在电动机正转时，按下“反转”起动按钮，观察是否由于互锁而无任何异常情况出现，电动机是否仍继续正转。按下“停止运行”按钮，继而再按下“反转”起动按钮，观察各电器工作情况，电动机是否反转，“反转运行”指示灯是否亮。

实例 6　PLC 控制电动机正、反转复合联锁控制电路

复合联锁电动机正、反转继电器控制电路如图 5-35 所示，该电路能实现六个功能：正转起动；正转停车；反转起动；反转停车；正转停车反转直接起动；反转停车正转直接起动。

采用 PLC 控制的复合联锁正、反转电动机输入/输出（I/O）接线如图 5-36 所示。在断电状态下，按图 5-36 所示接线，连接好外部电缆。打开 PLC 的前盖，将运行模式选择开关拨到“STOP”位置。



输入	元件	功能	输出	元件	功能
X20	SB1	正转起动	Y20	KM1	M正转
X21	SB2	反转起动	Y21	KM2	M反转
X22	SB3	停止			

图 5-36　PLC 控制的输入/输出（I/O）接线

在作为编程器的 PC 上，运行 FXGPWIN 编程软件。用菜单命令“文件→新建”，生成一个新项目，或者用菜单命令“文件→打开”，打开一个已有的项目。或者用菜单命令“文件→另存为”，可修改项目的名称。

用菜单命令“PLC→类型”，设置 PLC 的型号；设置通信参数；编写 PLC 控制程序，将编写的 PLC 控制程序下载到 PLC。采用 PLC 控制的复合联锁电动机正、反转控制电路参考程序如图 5-37 所示，将运行模式选择开关拨到“RUN”位

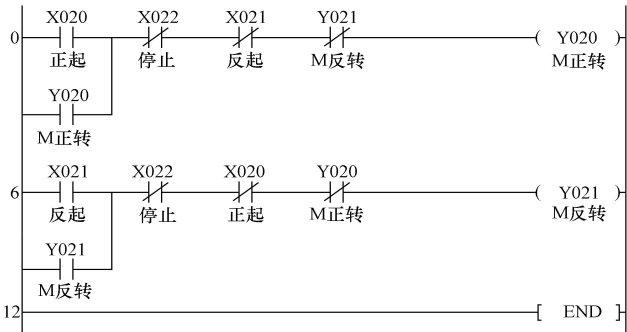


图 5-37　复合联锁正、反转控制电路参考程序

置，使 PLC 进入运行方式。

按下正转起动按钮 SB1，观察电动机是否正转起动运行，松开 SB1 后，电动机是否能够连续正转运行。如果电动机能够连续正转运行，则起动程序正确。

按下停止按钮 SB3，观察电动机是否能够停车。如果电动机能够停车，则停止程序正确。按下反转起动按钮 SB2，观察电动机是否反转起动运行，松开 SB2 后，电动机是否能够连续反转运行。如果电动机能够连续反转运行，则起动程序正确。按下停止按钮 SB3，观察电动机是否能够停车。如果电动机能够停车，则停止程序正确。

在正转运行时，按下反转起动按钮 SB2，观察电动机是否能够正转停车，反转直接起动运行。在反转运行时，按下正转起动按钮 SB1，观察电动机是否能够反转停车，正转直接起动运行。

实例 7　PLC 控制电动机正、反转接触器联锁控制电路

在生产生活当中，电动机正反转电路应用的方面有很多，比如升降机、伸缩门、电梯等。当三相异步电动机任意颠倒两相就可实现反转。接触器联锁电动机正、反转控制电路如图 5-38 所示。当按下正转起动按钮 SB1→接触器 KM1 得电吸合并自锁→KM1 主触头闭合→电动机得电起动运行，KM1 联锁触头对 KM2 线圈联锁。

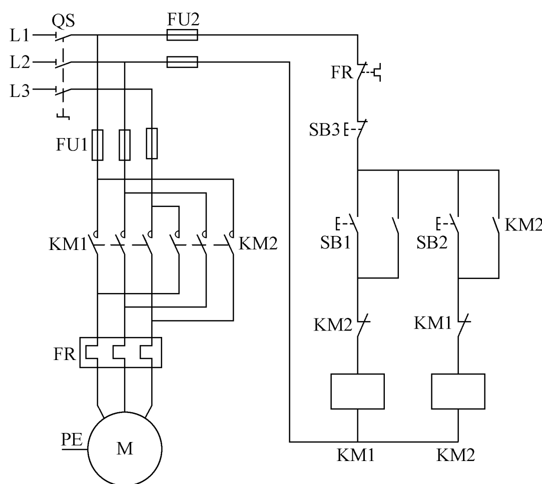


图 5-38　接触器联锁正、反转控制电路

当按下停止按钮 SB3→接触器 KM1 失电释放→KM1 主触头断开→电动机失电停止运行。

当按下反转起动按钮 SB2→接触器 KM2 得电吸合并自锁→KM2 主触头闭合→电动机得电起动运行，KM2 联锁触头对 KM1 线圈联锁。

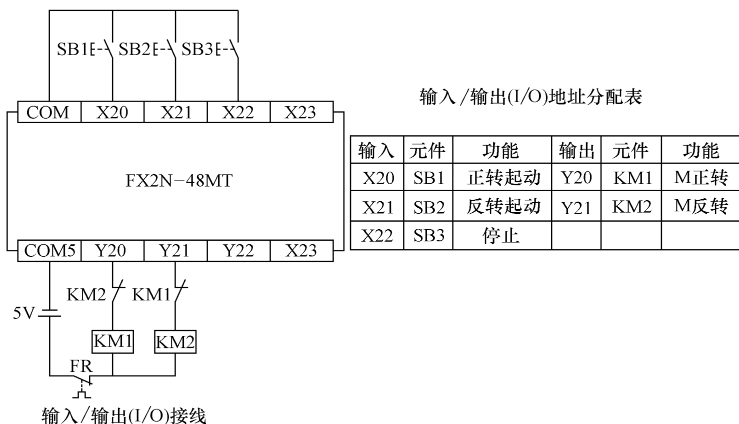
当手按下停止按钮 SB3→接触器 KM2 失电释放→KM2 主触头断开→电动机失电停止运行。

该电路能实现四个功能：正转起动；正转停车；反转起动；反转停车。

采用 PLC 控制的电动机正、反转联锁输入/输出（I/O）接线如图 5-39 所示。在断电状态下，按图 5-39 所示的接线图接线，连接好外部电缆。打开 PLC 的前盖，将运行模式选择开关拨到“STOP 位置”。

在作为编程器的 PC 上，运行 FXGPWIN 编程软件。用菜单命令“文件→新建”，生成一个新项目，或者用菜单命令“文件→打开”，打开一个已有的项目。或者用菜单命令“文件→另存为”，可修改项目的名称。

用菜单命令“PLC→类型”，设置 PLC 的型号；设置通信参数；编写 PLC 控制程序；将编写的 PLC 控制程序下载到 PLC。接触器联锁正、反转控制参考程序如图 5-40 所示。将运行模式选择开关拨到“RUN”位置，使 PLC 进入运行方式。



输入	元件	功能	输出	元件	功能
X20	SB1	正转起动	Y20	KM1	M正转
X21	SB2	反转起动	Y21	KM2	M反转
X22	SB3	停止			

图5-39　PLC控制输入/输出（I/O）接线

按下正转起动按钮SB1，观察电动机是否正转起动运行，松开SB1后，电动机是否能够连续正转运行。如果电动机能够连续正转运行，则起动程序正确。按下停止按钮SB3，观察电动机是否能够停车。如果电动机能够停车，则停止程序正确。按下反转起动按钮SB2，观察电动机是否反转起动运行，松开SB2后，电动机是否能够连续反转运行。如果电动机能够连续反转运行，则起动程序正确。按下停止按钮SB3，观察电动机是否能够停车。如果电动机能够停车，则停止程序正确。

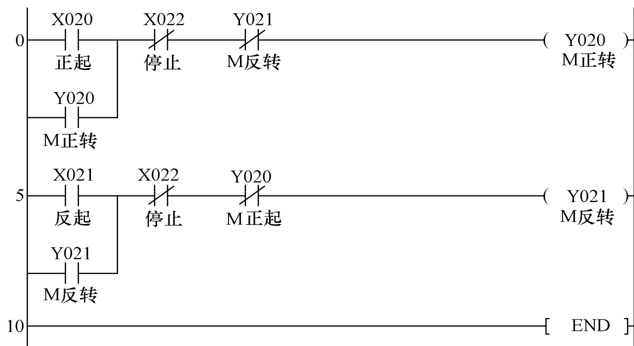


图5-40　接触器联锁正、反转控制参考程序

实例8　PLC控制三层传送带顺序起停电路

三层带式运输机的传送系统分别用三台电动机带动，如图5-41所示。控制要求如下：

①起动时先起动最下一层带式输送机，经过10s延时，再依次起动其他带式输送机。即顺序起动：M1→M2→M3，间隔时间为10s。

②停止时应先停止最上一层带式输送机，经过10s延时后再依次停止其他带式输送机。即逆序停止：M3→M21→M1，间隔时间为10s。

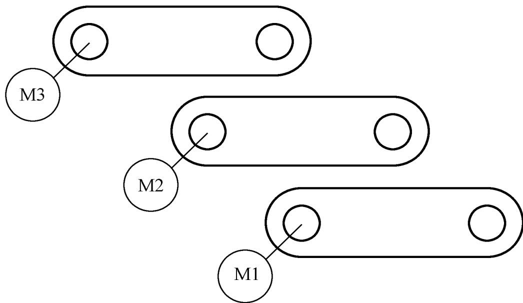


图5-41　三层带式运输机的传送系统

三层带式运输机的传送系统主电路如图

5-42 所示。采用 PLC 控制的输入/输出（I/O）地址分配，见表 5-4，输入/输出（I/O）接线（按图 5-39 所示的接线）如图 5-43 所示。采用 PLC 控制的三层带式运输机的传送系统参考程序如图 5-44 所示。

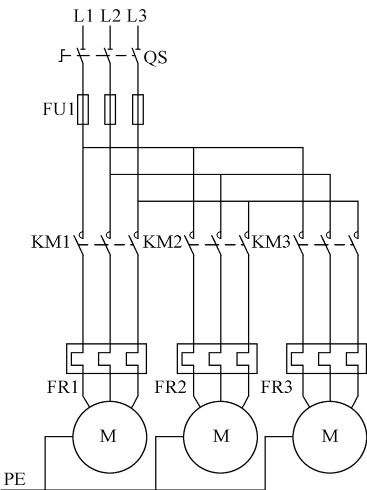


图 5-42　三层带式运输机的传送系统主电路

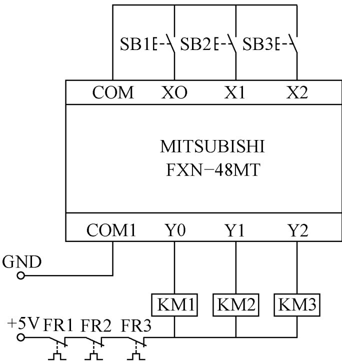


图 5-43　输入/输出（I/O）接线

表 5-4　输入/输出（I/O）地址分配

输入	元件	功能	输出	元件	功能
X0	SB1	起动	Y0	KM1	M3 运行
X1	SB2	停止	Y1	KM2	M2 运行
X2	SB3	急停	Y2	KM3	M1 运行

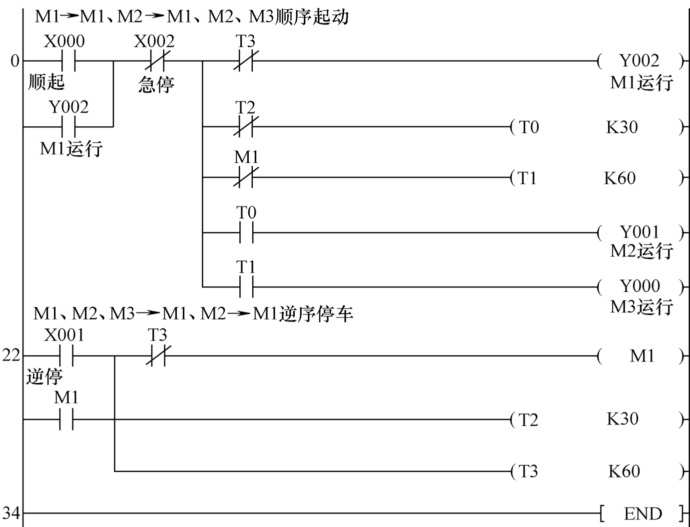


图 5-44　三层带式运输机的传送系统参考程序

实例 9　PLC 控制三台电动机间歇运行电路

三台电动机拖动设备的动作要求：

①在工作时同时只能有两台工作；一台休息。

②每台工作 20s，休息 10s。

③若有 1 台过载保护，剩余两台长期工作。直到过载解除开始替补。

④若有两台过载保护，开始报警。

⑤开始时：M1、M2 同时起动，M1 工作 10s 停、M3 开始工作；再 10s，M2 停、M1 起动…

三台电动机间歇运行控制主电路如图 5-45 所示，采用 PLC 控制的输入/输出（I/O）地址分配，见表 5-5，输入/输出（I/O）接线如图 5-46 所示。采用 PLC 控制的三台电动机间歇运行控制参考程序如图 5-47 所示。

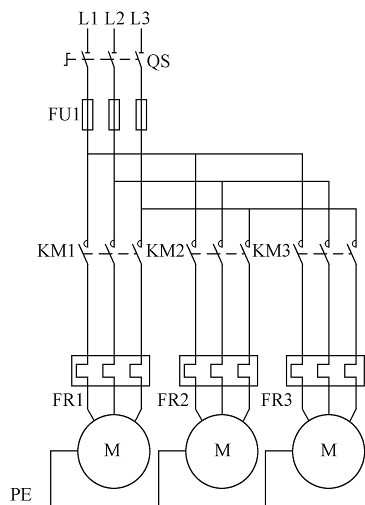


图 5-45　三台电动机间歇运行控制主电路

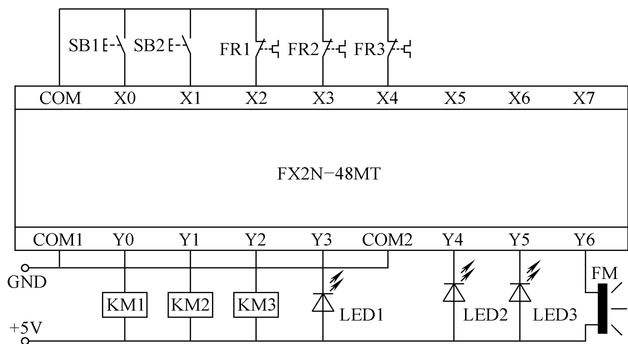


图 5-46　输入/输出（I/O）接线

表 5-5　输入/输出（I/O）地址分配

输入	元件	功能	输出	元件	功能
X0	SB1	起动	Y0	KM1	M1
X1	SB2	停止	Y1	KM2	M2
X2	FR1	M1 故障	Y2	KM3	M3
X3	FR2	M2 故障	Y3	LED1	M1 故障指示
X4	FR3	M3 故障	Y4	LED2	M2 故障指示
			Y5	LED3	M3 故障指示
			Y6	蜂鸣器	故障报警

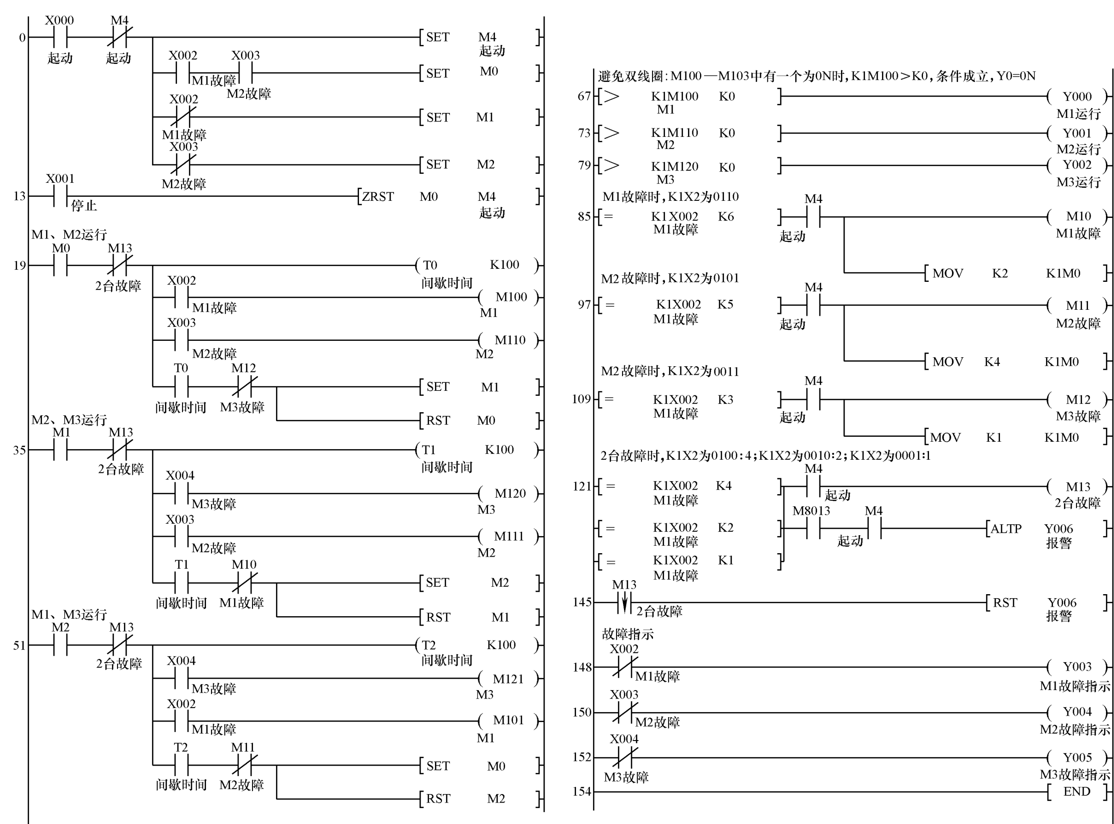


图 5-47　三台电动机间歇运行控制参考程序

实例 10　PLC 控制两台或更多的电动机按一定顺序运行电路

两台电动机 MA 和 MB，需要起动时 MA 电动机先行起动，然后 MB 电动机才可以起动。停车时需要 MA 电动机停止运行后，MB 电动机才可停止运行。用 PLC 控制电动机 MA、MB 时，其主电路和控制电路接线如图 5-48 所示。采用 PLC 控制时定义输入、输出口地址见表 5-6。

表 5-6　定义输入、输出口地址

输入口地址	定　　义	输出口地址	定　　义
X000	MA 电动机热继电器触头	Y000	MA 电动机接触器线圈
X001	MB 电动机热继电器触头	Y001	MB 电动机接触器线圈
X002	MA 电动机起动按钮	Y005	MA 电动机运行指示灯（绿色）
X003	MB 电动机起动按钮	Y006	MB 电动机运行指示灯（黄色）
X004	MA 电动机停止按钮	Y007	停止运行指示灯（红色）
X005	MB 电动机停止按钮		

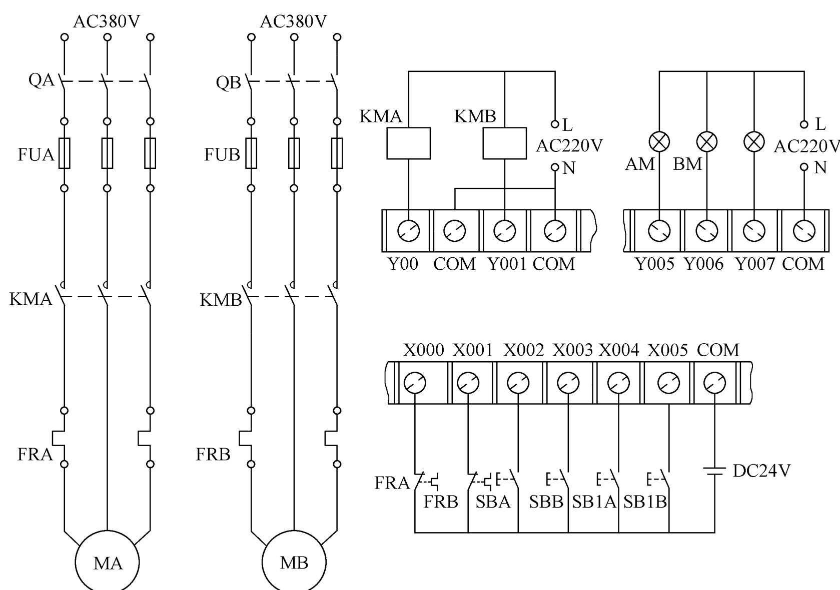


图5-48 交流异步电动机顺序控制接线

按图5-48进行接线时，先接电动机控制主电路，再接程控器输出端电路，最后接程控器输入端电路。全部接线完毕后，仔细查对电路是否正确，如有错误予以更正。

把图5-49所给出的梯形图，输入到计算机中，在核对无误后下载到PLC中。程序下载完毕后，合上交流电源。分别按下控制按钮，观察计算机显示屏上的输出点状态是否满足控制要求。空载调试完成后，再检查一次主电路，确认无误后方可接通电源，进行负载运行。交流电源接通后，不按下任何按钮，“停止运行”指示灯（红色）亮，表示MA或MB电动机均未运行。

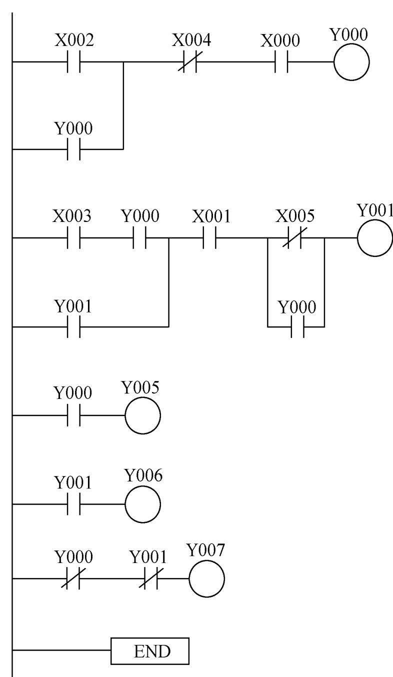


图5-49 电动机顺序控制梯形图

按下“MA电动机起动”按钮，观察MA电动机是否运转，“MA电动机运转”指示灯是否亮，“停止运行”指示灯是否熄灭。再按下“MB电动机起动”按钮，观察MB电动机是否运转，“MB电动机运转”指示灯是否亮。在MA、MB电动机都运转时，按下“MB电动机停车”按钮，观察MB电动机是否停止运行。先按下“MA电动机停车”按钮，再按下“MB电动机停车”按钮，观察MA、MB电动机是否都停止运转。“停止运行”指示灯是否亮。在MA电动机停止运行时，按下“MB电动机起动”按钮，观察MB电动机是否能起动。经过数次试验，确认MA、MB电动机符合规定的运行顺序，即MA电动机起动后MB电动机才能起动，MA电动机停止运行后，MB电动机才可停止运行。

实例 11　PLC 控制三台电动机顺序起动电路

一般机械设备的拖动电动机常按一定的顺序控制要求，对控制电路提出顺序工作的联锁要求，此类电路属于顺序起动控制或称条件控制电路，顺序起动控制电路是在一个设备起动之后另一个设备才能起动运行的一种控制方法，常用于主、辅设备之间的控制。继电器控制原理如图 5-50 所示。采用 PLC 控制的输入/输出（I/O）接线如图 5-51 所示。

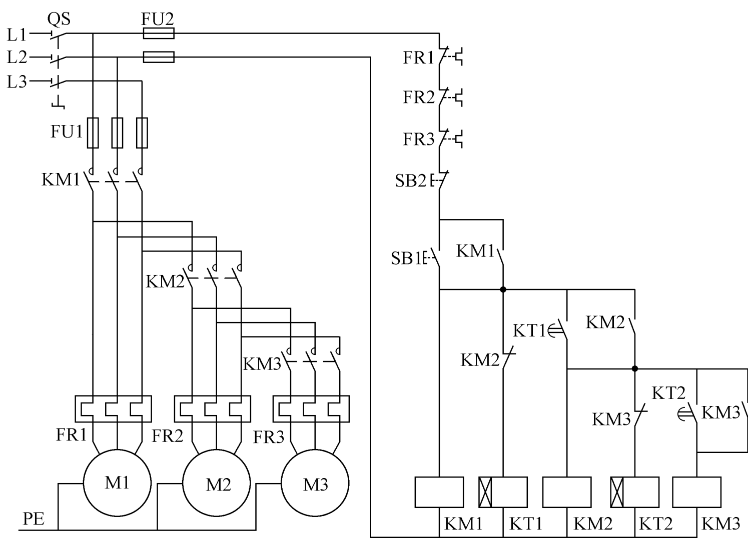


图 5-50　继电器接触器控制电路

在断电状态下，按图 5-51 所示的接线，连接好外部电缆。打开 PLC 的前盖，将运行模式选择开关拨到“STOP”位置。在作为编程器的 PC 上，运行 FXGPWIN 编程软件。

用菜单命令“文件→新建”，生成一个新项目，或者用菜单命令“文件→打开”，打开一个已有的项目。或者用菜单命令“文件→另存为”，可修改项目的名称。用菜单命令“PLC→类型”，设置 PLC 的型号；设置通信参数；编写 PLC 控制程序，将控制程序下载到 PLC。采用 PLC 控制的三台电动机顺序起动控制参考程序如图 5-52 所示。

将运行模式选择开关拨到“RUN”位置，使 PLC 进入运行方式。按下起动按钮 SB1，观察电动机 M1 是否起动运行，松开 SB1 后，电动机是否能够连续运行。如果电动机能够连续运行，则起动程序正确。然后看三台电机能否顺序起动。按下停止按钮，观察电机是否停车。

I/O地址分配表

输入	元件	功能	输出	元件	功能
X0	SB1	起动	Y0	KM1	M1运行
X1	SB2	停止	Y1	KM2	M2运行
			Y2	KM3	M3运行

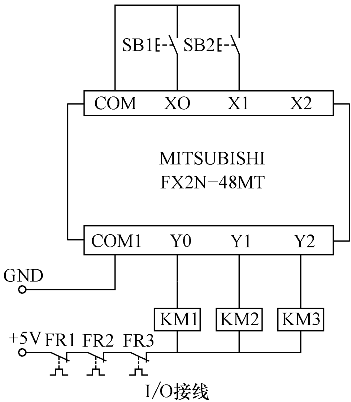


图 5-51　PLC 控制的输入/输出（I/O）接线图

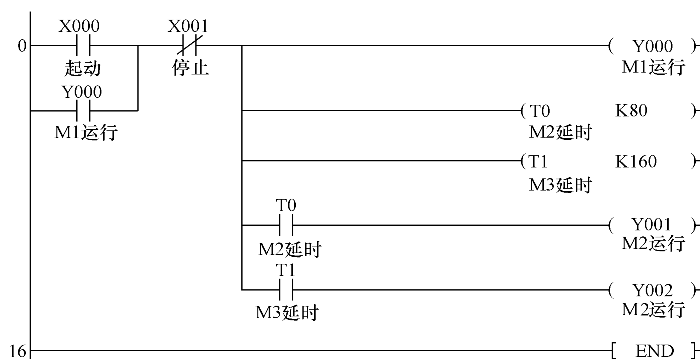


图 5-52 PLC 控制的三台电动机顺序控制参考程序

实例 12 PLC 控制工作台自动往返电路

工作台自动往返控制原理如图 5-53 所示。采用 PLC 控制的输入/输出（I/O）接线如图 5-54 所示，在断电状态下，按图 5-54 所示的接线，连接好外部电缆。打开 PLC 的前盖，将运行模式选择开关拨到“STOP”位置。

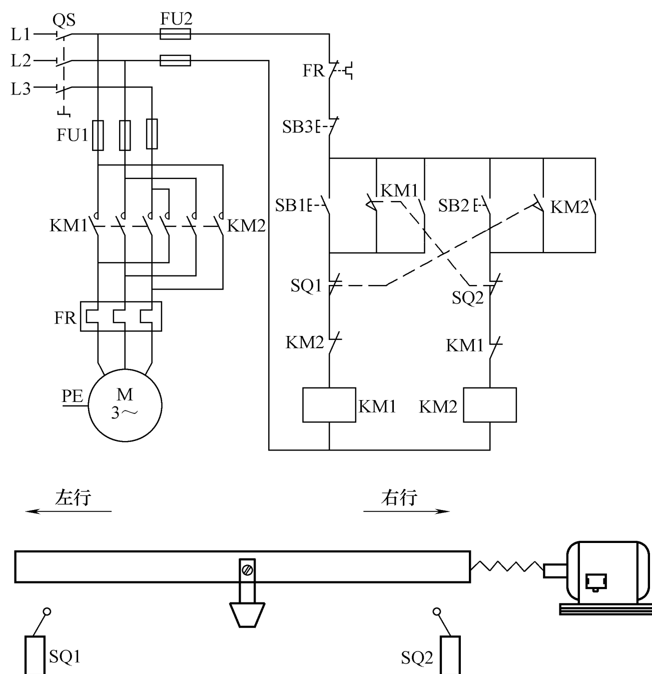


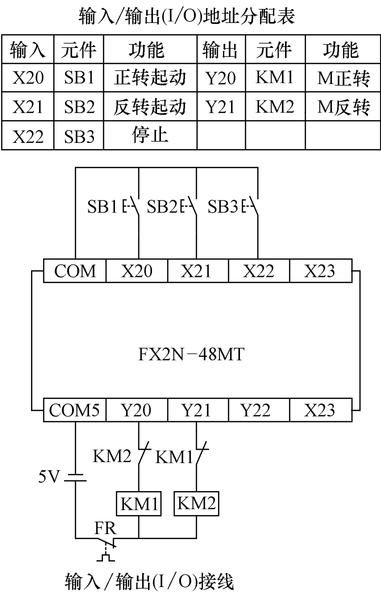
图 5-53 工作台自动往返控制原理

在作为编程器的 PC 上，运行 FXGPWIN 编程软件。用菜单命令“文件→新建”，生成一个新项目，或者用菜单命令“文件→打开”，打开一个已有的项目。或者用菜单命令“文件→另存为”，可修改项目的名称。用菜单命令“PLC→类型”，设置 PLC 的型号；设置通信

参数；编写 PLC 控制程序；将控制程序下载到 PLC。采用 PLC 控制的工作台自动往返控制参考程序如图 5-55 所示。

将运行模式选择开关拨到“RUN”位置，使 PLC 进入运行方式。按下正转起动按钮 SB1，观察电动机是否正转起动运行，松开 SB1 后，电动机是否能够连续正转运行。如果电动机能够连续正转运行，则起动程序正确。按下停止按钮 SB3，观察电动机是否能够停车。如果电动机能够停车，则停止程序正确。按下反转起动按钮 SB2，观察电动机是否反转起动运行，松开 SB2 后，电动机是否能够连续反转运行。如果电动机能够连续反转运行，则起动程序正确。按下停止按钮 SB3，观察电动机是否能够停车。如果电动机能够停车，则停止程序正确。

在正转运行时，按下反转起动按钮 SB2，观察电动机是否能够正转停车，反转直接起动运行。在反转运行时，按下正转起动按钮 SB1，观察电动机是否能够反转停车，正转直接起动运行。按下正转起动 SB1，观察工作台能否自动往返。按下正转起动 SB2，观察工作台能否自动往返。


输入/输出(I/O)地址分配表

输入	元件	功能	输出	元件	功能
X20	SB1	正转起动	Y20	KM1	M正转
X21	SB2	反转起动	Y21	KM2	M反转
X22	SB3	停止			

图 5-54　PLC 控制的输入/输出（I/O）接线

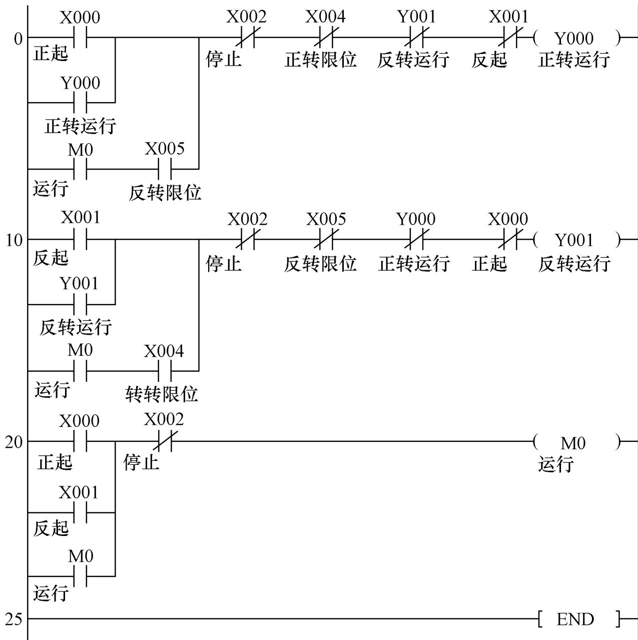


图 5-55　工作台自动往返控制参考程序

实例 13　PLC 控制电动机自动往返电路

电动机自动往返控制要求：按下起动按钮，电动机正转右行，到位自动反转左行，到位自动正转；如此循环 3 个周期，然后自动停止。运行中，可按下停止按钮。为了便于调试，保留了反转左行起动按钮，使系统有手动操作的功能。采用 PLC 控制的电动机自动往返正反转，PLC 控制的 I/O 地址分配见表 5-7。

表 5-7　PLC 的 I/O 地址分配

输入地址	外部输入信号	输出地址	外部输出信号
X0	停止按钮 SB1	Y1	电动机正转接触器 KM1
X1	正转起动按钮 SB2	Y2	电动机反转接触器 KM2
X2	反转起动按钮 SB3		
X3	右限位光电开关 SQ1		
X4	左限位光电开关 SQ2		

电动机循环次数，由计数器来控制。根据控制要求，电动机自动往返控制的梯形图如图 5-56 所示。根据系统控制要求，其系统接线如图 5-57 所示。梯形图中的软件互锁和按钮联锁电路并不安全，在电动机切换方向的过程中，可能原来接通的接触器的主触头还没有完全断开（分断电弧还没熄灭），另一个接触器的主触头已经闭合，由此造成瞬间的电源相间短路。此外，如果某一接触器主触头因电弧熔焊而被粘结，这时如果另一接触器的线圈通电，也会造成三相电源短路的事故。因此 PLC 的外部电路中必须保留 KM1 和 KM2 的硬件互锁电路。

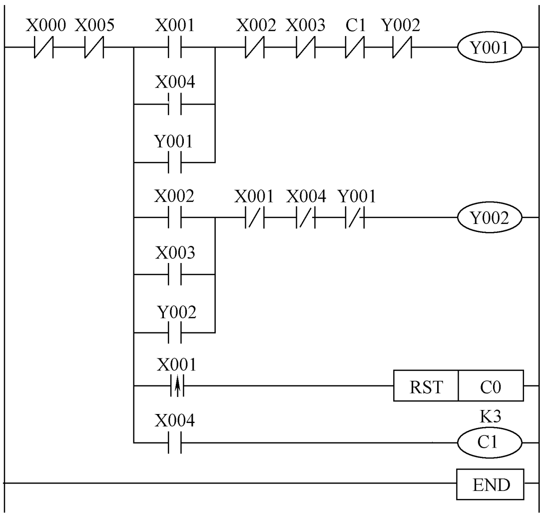


图 5-56　电动机自动往返控制梯形图

通过计算机将图 5-56 所示的梯形图输入 PLC 中。按图 5-57 所示的 PLC 的 I/O 接线，正确连接好输入设备，进行 PLC 的模拟调试。按控制要求输入信号，观察 PLC 的输出指示灯是否按要求显示。否则，检查并修改程序，直至显示正确。

按图 5-57 所示的系统接线正确连接好输出设备，进行系统空载调试，观察接触器能否按控制要求动作。否则，检查电路或修改程序，直至接触器能按控制要求动作。按图 5-58 所示主电路正确连接好电动机，进行带负载调试。

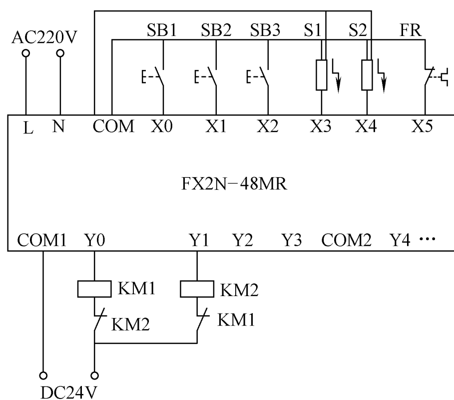


图 5-57　系统接线

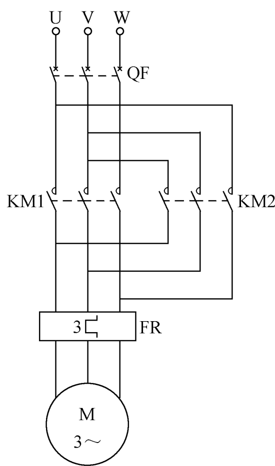


图 5-58　主电路原理

实例 14　PLC 控制电动机丫/△起动电路

1. PLC 控制电动机丫/△起动电路（一）

由电动机及拖动基础可知，三相交流异步电动机起动时电流较大，一般是额定电流的（5 ~ 7）倍。故对于功率较大的电动机，应采用减压起动方式，丫/△减压起动是常用的方法之一。起动时，定子绕组首先接成星形，待转速上升到接近额定转速时，再将定子绕组的接线换成三角形，电动机便进入全电压正常运行状态。图 5-59a、b 为继电器-接触器丫/△减压控制电路。

（1）工作过程　图 5-59b 所示的控制电路根据起动过程中的时间变化，是利用时间继电器来控制丫/△转换的。由图 5-59a 知，工作时，首先合上刀开关 QS，当接触器 KM1 及 KM3 接通时，电动机丫形起动。当接触器 KM1 及 KM2 接通时，电动机△形运行。图 b 为控制电路，其工作过程分析如下：

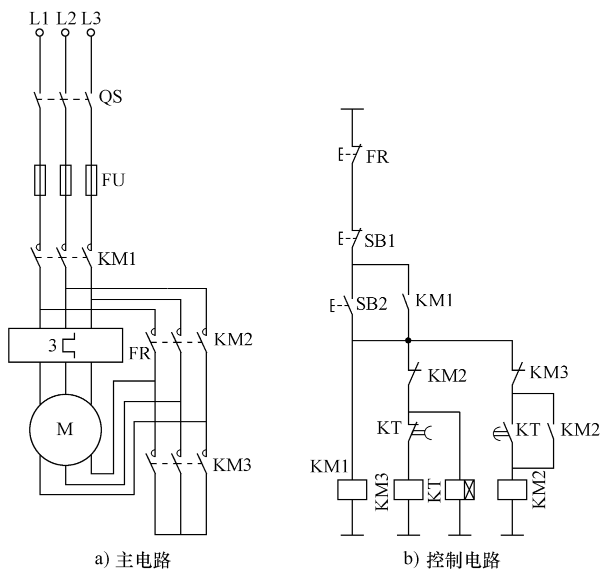
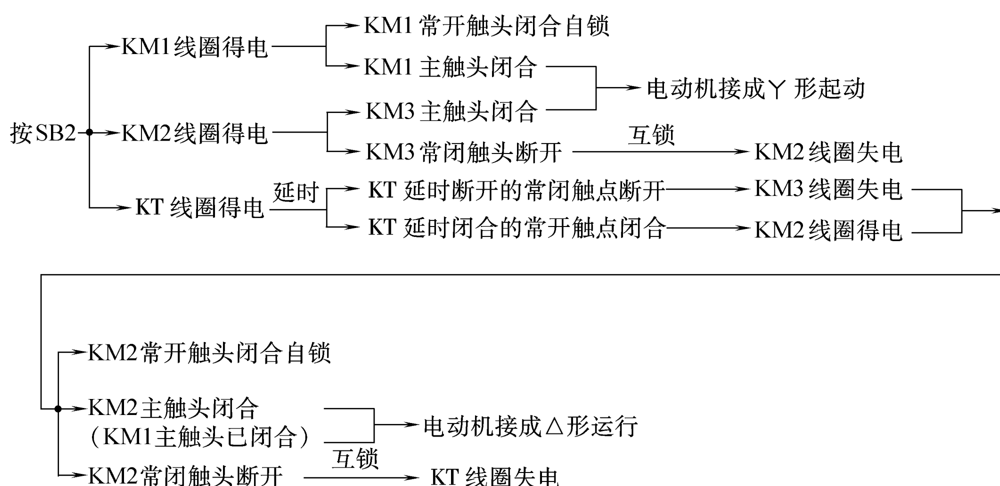


图 5-59　继电器-接触器丫/△减压起动



电路中KM2和KM3的常闭触头构成电气互锁，保证电动机绕组只能接成一种形式，即Y形或△形，以防止同时连接成Y形及△形而造成电源短路。

（2）硬件配置　采用PLC控制所需的硬件及输入/输出端口分配如图5-60所示。图中，外部器件有：SB1为停止按钮，SB2为起动按钮，FR为热继电器的常开触头，KM1为主电源接触器，KM2为△形运行接触器，KM3为Y形起动接触器。

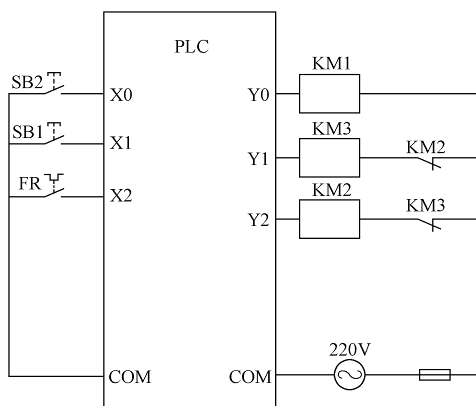


图5-60　输入/输出接线

（3）软件设计　软件设计除应用部分基本指令及软元件之外，还采用软元件辅助继电器M100及定时器T0；主控触头指令MC、MCR。PLC控制的梯形图及指令表如图5-61所示。

工作过程分析如下：按下起动按钮SB2时，输入继电器X0的常开触头闭合，并通过主控触头（M100常开触头）自锁，输出继电器Y1接通，接触器KM3得电吸合，接着Y0接通，接触器KM1得电吸合，电动机在Y形接线方式下起动；同时定时器T0开始计时，延时8s后T0动作，使Y1断开，Y1断开后，KM3失电，互锁解除，使输出继电器Y2接通，接触器KM2得电，电动机在△形接线方式下运行。

若要使电动机停止，按下SB1按钮或过载保护（FR）动作，不论电动机是起动或运行情况下，都可使主控接点断开，电动机停止运行。

2. PLC控制电动机Y/△起动电路（二）

电动机Y/△起动控制系统电路如图5-62所示。工作过程如下：

①按下起动按钮SB1，时间继电器KT和星形接触器KM2先闭合，之后主接触器KM1得电并自锁，进行Y形起动；KT延时3s后KM2断开，Y形起动过程结束，同时三角形接触器KM3得电，电动机进入正常运行状态。

②按下停止按钮SB0或热继电器FR动作，电动机无条件停止。

PLC的输入信号有：起动按钮SB1-X1；停止按钮SB0-X0，热继电器常开触头FR-X2。

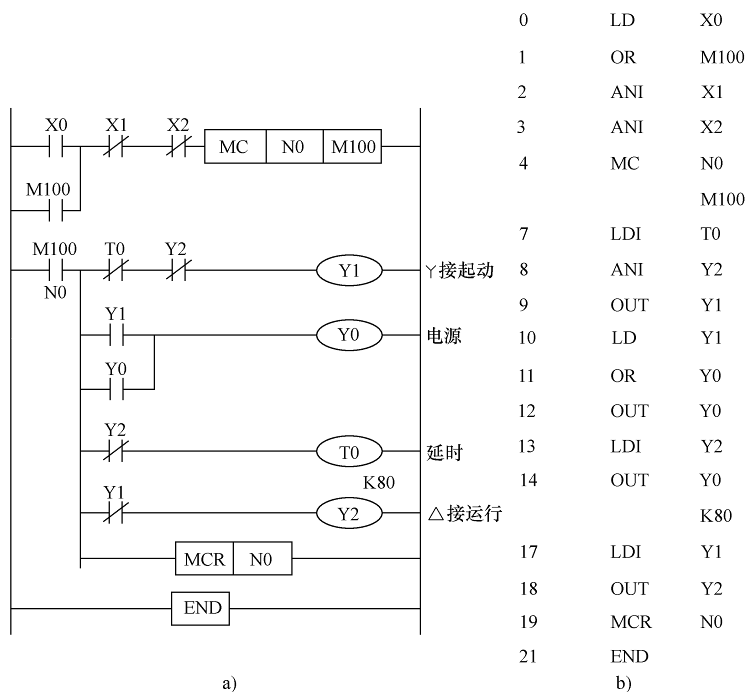


图 5-61　ㄚ/△起动控制的梯形图及指令表

a）梯形图　b）指令表

PLC 的输出信号有：主接触器 KM1-Y1；星形接触器 KM2-Y2；三角形接触器 KM3-Y3。

根据 I/O 信号的对应关系，可画出 PLC 的外部接线图，如图 5-63 所示。由ㄚ/△减压起动的继电器电路图 5-62 可知，控制电路有四条支路，分别对应四个线圈，因此可以画出四个独立电路。由于 KM2 支路是在 KT 支路的基础上多一个串联触头，它们构成了连续输出关系，故可以将 KM2 和 KT 的支路组合成一个独立电路网络。同样，KM1 和 KM3 也可以组成一个独立电路网络。根据 I/O 地址对应关系，并分配 T0 给定时器 KT，可以编制出控制系统的梯形图，如图 5-64 所示。

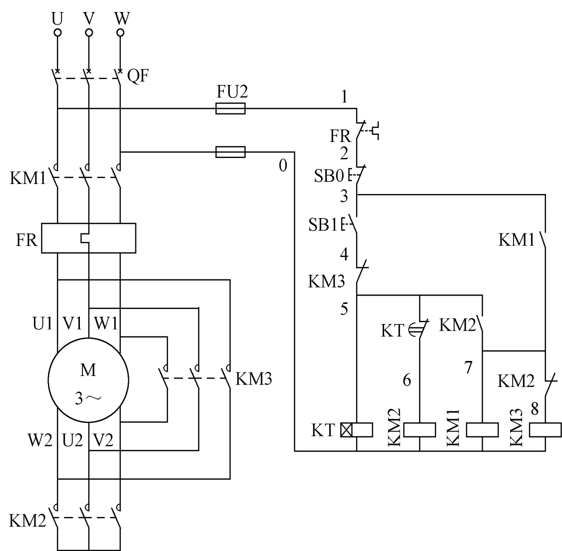


图 5-62　ㄚ/△起动控制系统的继电器电路原理

图 5-64 的梯形图比较复杂，涉及电路块到串并联等指令。根据梯形图编程的基本原则，运用逻辑运算关系，可以将它进一步优化成图 5-65 所示的梯形图。

将程序输入到 PC 并下载到 PLC 中，进行调试。按图 5-63 接好输入设备，进行控制系

统的 PLC 模拟调试。按下起动按钮 SB1，Y1、Y2 亮，3s 后 Y2 熄灭 Y3 亮。当按下停止按钮 SB0 或热继电器 FR 动作，所有的输出指示都熄灭。先进行空载调试。满足控制要求后，再接好主电路，进行带负载调试。

图 5-63　丫/△减压起动控制的 PLC 外部接线

图 5-64　电动机丫/△减压起动控制梯形图

3. PLC 控制电动机丫/△起动电路（三）

电动机丫/△减压起动控制的任务和控制内容：按下起动按钮 SB1，时间继电器 KT 和起动用接触器 KM 丫线圈得电，之后主接触器 KM 线圈得电并自锁，进行丫形起动。当 KT 的延时到达，KM 丫线圈失电，同时 KM△线圈得电，电动机完成丫形起动，进入△形正常运行。在此过程中，按下停止按钮 SB 或热继电器 FR 动作，电动机无条件停止。

PLC 的输入信号：起动按钮 SB1（X1），停止按钮 SB（X0），热继电器常开触头 FR（X2）。PLC 的输出信号：主接触器 KM（Y0），起动接触器 KM 丫（Y1），运行接触器 KM△（Y2），定时器（T0）。根据上述 I/O 信号，可绘出 PLC 的外部接线图，如图 5-66 所示。

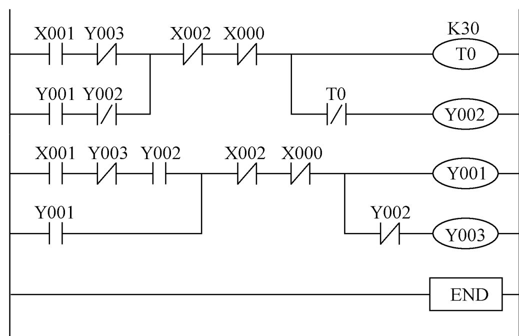


图 5-65　运用逻辑运算优化的梯形图

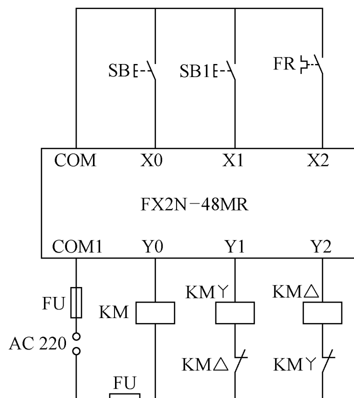


图 5-66　PLC 的外部接线

真值表可根据控制要求，列出的线圈函数和触头变量的取值，即当线圈函数为 1 时，必须使哪些触头变量为 1，当线圈函数为 0 时，必须使哪些触头变量为 0。例如，当起动用接

触器为 1 时，就必须使起动按钮为 1 或起动接触器为 1；当起动用接触器为 0 时，就必须使停止按钮或热继电器或运行或定时器为 0。根据控制要求列出其真值表，见表 5-8。

表 5-8　真　值　表

触头							线圈			
X0	X1	X2	Y0	Y1	Y2	T0	Y1	Y0	Y2	T0
	1			1			1			
0		0			0	0	0			
			1	1				1		
0		0						0		
					1	1			1	
0		0		0					0	
	1				0	1				1
0		0								0

根据真值表可列出如下的逻辑函数表达式：

$T0（M0）=X1.\overline{Y2}.M0）.\overline{X0}.\overline{X2}$（因 T0 没有瞬时触头，故用辅助继电器 M0 代替）

$Y1=（X1+Y1）.\overline{X0}.\overline{X2}.\overline{Y2}$

$Y0=（Y1+Y0）\overline{X0}.\overline{X2}$

$Y2=（T0+Y2）\overline{X0}.\overline{X2}.\overline{Y1}$

根据上述逻辑函数表达式以及逻辑函数表达式与梯形图的对应关系，可编制出图 5-67 所示的梯形图。并对图 5-67 所示的梯形图采用辅助继电器进行优化，优化后的梯形图如图 5-68 所示。

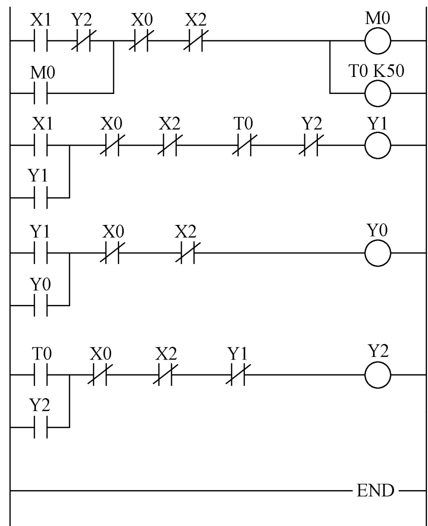


图 5-67　电动机Y/△减压起动梯形图

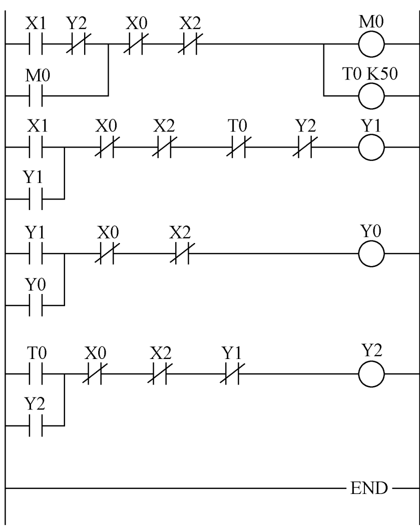


图 5-68　电动机Y/△减压起动优化梯形图

4. PLC 控制电动机Y/△起动电路（四）

在生产实际中，功率较大的电动机若频繁起动，因起动电流过大，会对供电电路造成影

响，故常采用Y/△减压起动。电动机Y/△减压起动继电器接触器控制电路如图 5-69 所示。采用 PLC 控制的电动机Y/△减压起动输入/输出（I/O）接线如图 5-70 所示。

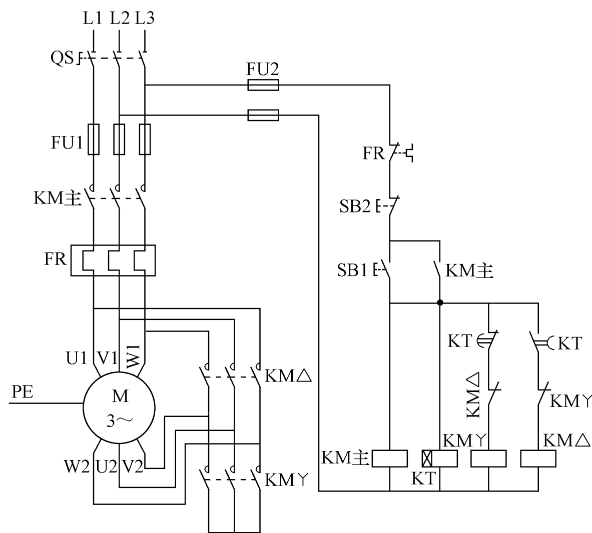
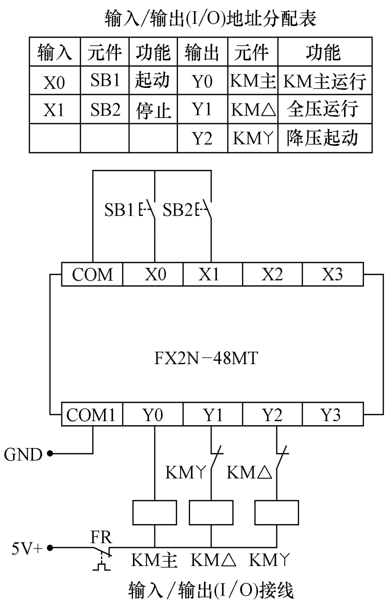


图 5-69 Y/△减压起动继电器控制电路


输入/输出(I/O)地址分配表

输入	元件	功能	输出	元件	功能
X0	SB1	起动	Y0	KM主	KM主运行
X1	SB2	停止	Y1	KM△	全压运行
			Y2	KMY	降压起动

图 5-70 PLC 控制的Y/△减压起动输入/输出（I/O）接线

（1）PLC 控制的电动机Y/△减压起动参考程序（一）

使用基本指令，实现Y/△减压起动功能的 PLC 控制的电动机Y/△减压起动参考程序（一）如图 5-71 所示。

（2）PLC 控制的电动机Y/△减压起动参考程序（二）

使用（MOV）传送指令来控制 K1Y0（Y0 ~ Y3）；减压起动时，Y0、Y2 运行；

	KMY	KM△	KM 主
Y3	Y2	Y1	Y0
0	1	0	1

二进制数值为 K5，即：[MOVK5K1Y0]

全压运行时，Y0、Y1 运行。

	KMY	KM△	KM 主
Y3	Y2	Y1	Y0
0	0	1	1

二进制数值为 K3，即：[MOVK3K1Y0]

PLC 控制的电动机Y/△减压起动参考程序（二）如图 5-72 所示。

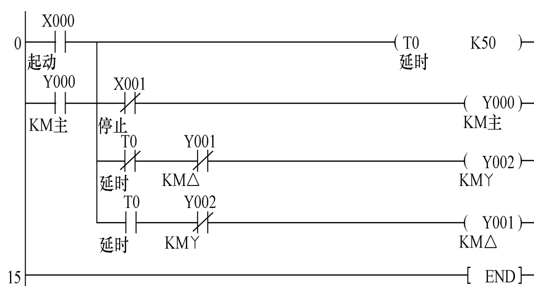


图 5-71　PLC 控制的电动机Y/△减压起动参考程序（一）

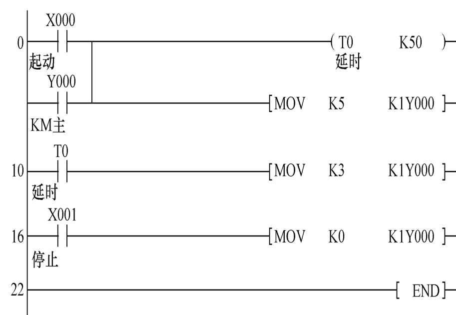


图 5-72　PLC 控制的电动机Y/△减压起动参考程序（二）

实例 15　PLC 控制电动机Y/△减压起动能耗制动电路

所谓能耗制动，即在电动机脱离三相交流电源之后，定子绕组上加一个直流电压，即通入直流电流，形成固定磁场，固定磁场与旋转着的转子中的感应电流相互作用，从而产生制动转矩已达到制动的目的。电动机Y/△减压起动能耗制动电路如图 5-73 所示。采用 PLC 控制的电动机Y/△减压起动能耗制动输入/输出（I/O）接线如图 5-74 所示。

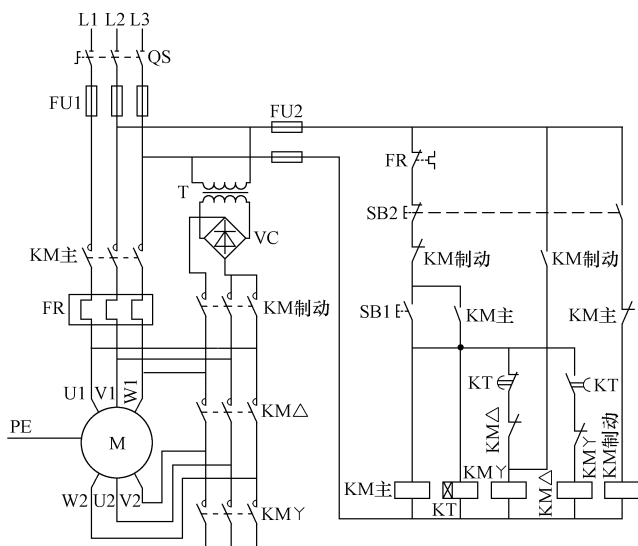
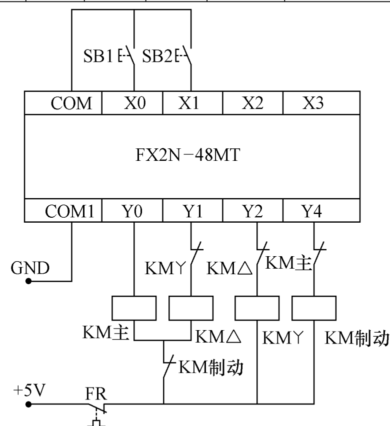


图 5-73　Y/△减压起动能耗制动电路


输入/输出(I/O)地址分配表

输入	元件	功能	输出	元件	功能
X0	SB1	起动	Y0	KM主	主接触器
X1	SB2	制动	Y1	KM△	全压运行
			Y2	KMY	减压起动
			Y3	KM制动	制动接触器

图 5-74　Y/△减压起动能耗制动 PLC 控制的输入/输出（I/O）接线

1. Y/△减压起动能耗制动采用 PLC 控制参考程序（一）

使用基本指令实现Y/△减压起动能耗制动功能，在减压起动和制动时都用到了 Y2（KMY），采用 PLC 控制的Y/△减压起动能耗制动参考程序，如图 5-75 所示。

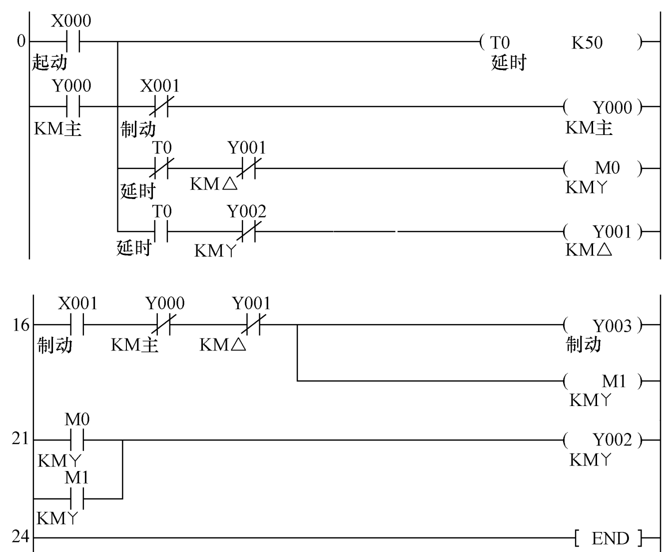


图5-75 Y/△减压起动能耗制动采用PLC控制参考程序（一）

2. Y/△减压起动能耗制动采用PLC控制参考程序（二）

使用（MOV）传送指令来控制K1Y0（Y0~Y3）；减压起动时，Y0、Y2运行；

KM制动	KMY	KM△	KM主
Y3	Y2	Y1	Y0
0	1	0	1

二进制数值为K5，即：[MOVK5K1Y0]

全压运行时，Y0、Y1运行。

KM制动	KMY	KM△	KM主
Y3	Y2	Y1	Y0
0	0	1	1

二进制数值为K3，即：[MOVK3K1Y0]

制动时，Y2、Y3运行。

KM制动	KMY	KM△	KM主
Y3	Y2	Y1	Y0
0	0	0	0

二进制数值为K12或HC，即：[MOVK12K1Y0]或[MOVHCK1Y0]

制动时SB2脉冲下沿，Y0~Y3清零。

KM 制动	KM丫	KM△	KM 主
Y3	Y2	Y1	Y0
0	0	0	0

二进制数值为 K0，即：［MOVK0K1Y0］

采用 PLC 控制的丫/△减压起动能耗制动参考程序（二）如图 5-76 所示。

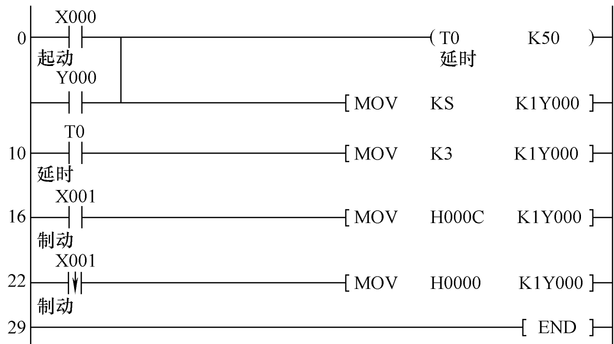


图 5-76　丫/△减压起动能耗制动采用 PLC 控制参考程序（二）

实例 16　LOGO 控制电动机自耦减压起动电路

目前，对 30kW 以上的较大功率电动机普遍采用自耦减压起动，在许多场合存在多台电动机同时工作，但这些电动机的起动并不要求同时进行，如水泵电动机、除尘风机、空压机、锅炉风机电动机等。

常用的办法是每台电动机都有 1 台自耦变压器进行减压起动。这种起动方法加大了投入和维修成本，而且用继电器接触器控制故障多，维修也不方便，特别是时间继电器可靠性较差，导致自耦变压器不能与电源断开而烧坏。如果用逻辑控制模块来控制自耦变压器进行起动，就可克服上述缺点。

电动机的起动、切换自耦变压器、停机和保护电路由 1 个具有 12 路输入，8 路输出的 LOGO230RCL！逻辑控制模块进行控制。LOGO230RCL！是德国西门子公司推出的微型通用逻辑控制模块，它具有集成的内部软件功能，包括 6 个基本功能和 11 个特殊功能，可进行内部软件编程。LOGO！编程器与控制器一体化，逻辑功能图的编程迅速、简单，一般人都能很快掌握。LOGO！的输出继电器在驱动感性负载时允许通过最大电流为 3A，在输入与输出之间可串联 7 个功能块，1 个完整的控制程序可使用多达 56 个功能块。

1. 主电路

图 5-77 所示的主电路由 4 台电动机保护型自动断路器、7 只接触器、1 台自耦变压器及电流互感器、热继电器等保护元件组成。主电路如图 5-77 所示。图中，KM1、KM3、KM5 分别控制各电动机与电源通断，KM2、KM4、KM6 分别控制自耦变压器与电动机通断，KM7 控制自耦变压器与电源通断。为了避免自耦变压器在连续起动和运行时间过长而烧坏，应根据实际情况加大其容量。本例以 3 台 110kW 电炉除尘风机的起动为例，自耦变压器容量选取 150kVA。

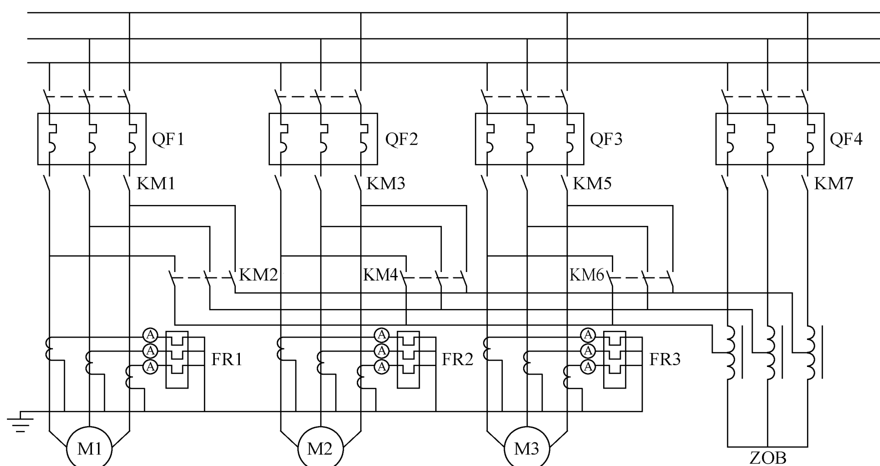


图5-77　主电路

2. 控制电路

LOGO的输入输出接线如图5-78所示。图中，SB1、SB3、SB5分别为3台电动机的起动按钮；SB2、SB4、SB6分别为停止按钮；FR1、FR2、FR3分别为3台电动机的热继电器（起过热保护作用）；I7接一按钮作紧急停止和复位用，KM7的常开触头接入LOGO！的I8端，作为3台电动机起动开始的输入信号，一旦某台电动机在设定时间内（本例为40s）未切除自耦变压器，则系统会自动强制切除自耦变压器，从而保护了自耦变压器。

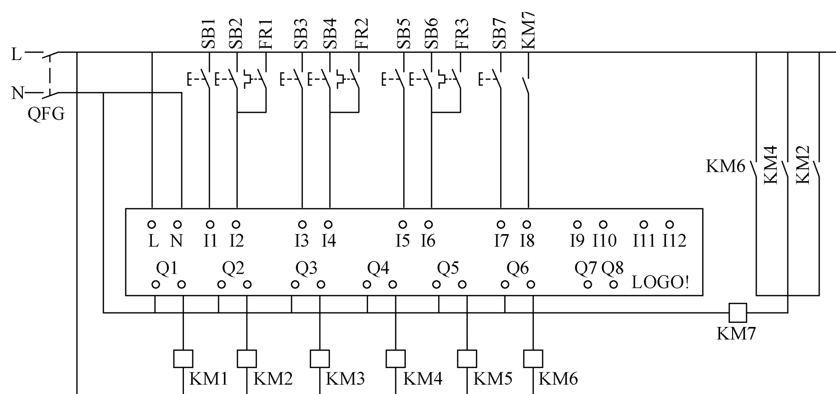


图5-78　控制电路输入输出接线

3. 程序设计

LOGO采用其特有的逻辑电路图形式编程，每台电动机的起动、停止及保护程序如图5-79所示。图a、b、c分别对应3台电动机的起停程序，图d为起动超时程序。整个程序不仅实现了电动机的起动、停止，而且还保证了3台电动机不能同时起动，并且有防止突然停电后再来电而误动作的保护功能。和防止了起动瞬间与某台电动机有关的3个接触器同时动作的联锁功能。此外，用户还可根据需要加装电动机保护器，让电动机多一层保护。

a)

b)

c)

d)

图 5-79　LOGO 逻辑电路

4. 程序原理（以图 5-79a 为例）

（1）风机起动：当按下 SB1 按钮时，I1 使 B14 输出为 1，Q2 动作，从而使 KM2 和 KM7 动作，此时 I1 通过 B03 使 RS 触发器 B11 置位并使 B02 延时 2s 后接通，为 Q1 动作做好准备。同时因 B02 的延时避免了起动时 Q1 和 Q2 瞬时同时动作；当 B14 延时 30s 后输出变为 0 使 Q2 断开，Q2 经过 B10 使 Q1 接通，同时 KM2、KM7 断开，KM1 动作、电动机起动完成。

（2）保护功能：Q4、Q6 通过 B06 接到 B05 的触发端，如果此时（60s 内）另外两台电动机有 1 台正在起动，那么 B05 输出为 1，通过 B04 和 B03 使 B02 触发端禁止，从而保证了任意两台电动机不能同时起动；而 Q1 经过 B09 接到脉冲触发器 B08 的触发端，如果突然停电，Q1 由 1 变成 0 时，经 B09 反转使 B08 上升沿触发，通过 B07 使 B02 复位为 0、保证下次再起动时 Q1、Q2 不至于瞬时同时动作，I2、I7、Q7（Q7 为起动超时信号）通过 B12 接到 RS 触发器 B11 的复位端和 B07 的复位端，从而使故障或停机时 B07 和 B11 能自动复位；热继电器 FR1 接到 12 端，当热继电器动作时，I2 通过 B12 使 B11 复位为 0，Q1 断开。

（3）停机：按下 SB2 按钮，I2 通过 B12 使 RS 触发器复位，B01 输出为 0，Q1 断开而停机，SB7 接到 I7 作为 3 台电动机的急停及复位按钮，它通过 B12 和 B07 分别使 B11 和 B02 复位并停机。

实例 17　OMRONPLC 控制电动机的正反转电路

三相异步电动机的正反转控制如图 5-80 所示。该控制电路有三个输入信号：停机按钮 SB1、正转按钮 SB2、反转按钮 SB3。两个输出信号：正转接触器线圈 KMF、反转接触器线圈 KMR。I/O 分配如下：

输入信号：SB2-00000、SB3-00001、SB1-00002 输出信号：KMF-00500、KMR-00501。

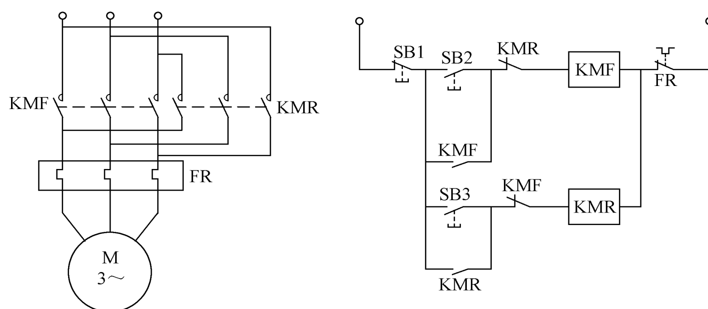
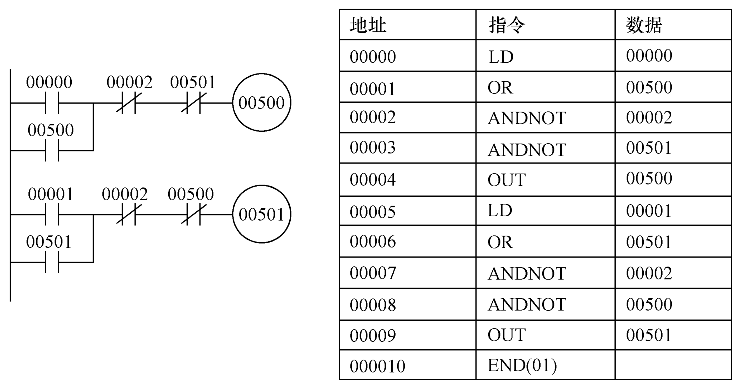


图 5-80　三相异步电动机正反转继电器控制电路

绘制梯形图、编写语句表如图 5-81 所示。OMRONC200HPLC 的外部接线如图 5-82 所示。



地址	指令	数据
00000	LD	00000
00001	OR	00500
00002	ANDNOT	00002
00003	ANDNOT	00501
00004	OUT	00500
00005	LD	00001
00006	OR	00501
00007	ANDNOT	00002
00008	ANDNOT	00500
00009	OUT	00501
000010	END(01)	

图 5-81　梯形图及编写语句表

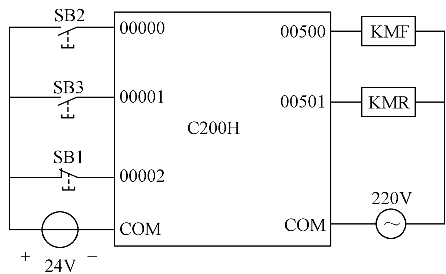


图 5-82　OMRONC200HPLC 的外部接线

实例 18　OMRONPLC 控制电动机Y/△减压起动电路

三相异步电动机Y/△减压起动的继电器控制电路如图 5-83 所示。电路工作过程：

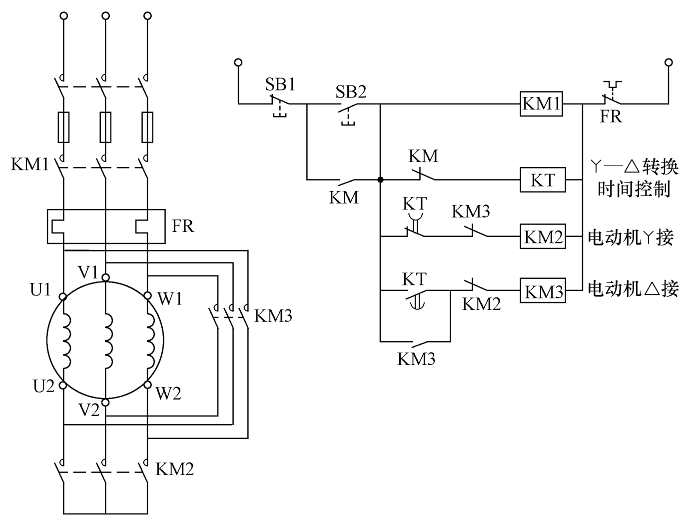


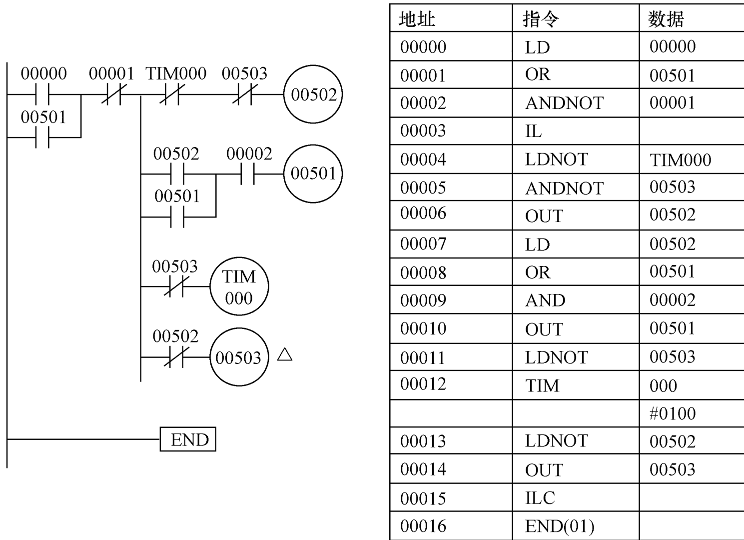
图 5-83　三相异步电动机Y/△减压起动控制电路

起动时，按下 SB2，接触器 KM1、KM2 相继吸合。KM1 通过其常开触头自锁，电动机接成丫形，并接通电源减压起动。同时，继电器 KT 线圈接通，开始计时，经起动延时（设为 10s）后，接触器 KM2 释放，KM3 吸合，电动机改接成△形，正常运行。停车时，按下停止按钮 SB1，接触器 KM1、KM3 释放，电动机断电停止运转。

该控制电路有三个输入信号：停机按钮 SB1、起动按钮 SB2、过载保护的热继电器 FR。三个输出信号：电源主接触器线圈 KM1、丫形连接接触器线圈 KM2、△形连接接触器 KM3。I/O 分配如下：

输入信号：SB2-00000、SB1-00001、FR-00002；输出信号：KM1-00501、KM2-00502、KM3-00503。

图 5-84 所示是三相异步电动机的丫/△减压起动的梯形图及相应的语句表。



地址	指令	数据
00000	LD	00000
00001	OR	00501
00002	ANDNOT	00001
00003	IL	
00004	LDNOT	TIM000
00005	ANDNOT	00503
00006	OUT	00502
00007	LD	00502
00008	OR	00501
00009	AND	00002
00010	OUT	00501
00011	LDNOT	00503
00012	TIM	000
		#0100
00013	LDNOT	00502
00014	OUT	00503
00015	ILC	
00016	END(01)	

图 5-84　梯形和语句表

实例 19　PLC 控制直流电动机减压起动能耗制动电路

直流电动机减压起动能耗制动电路如图 5-85 所示。采用 PLC 控制的直流电动机减压起动能耗制动输入/输出（I/O）接线如图 5-86 所示。

1. PLC 控制的直流电动机减压起动能耗制动参考程序（一）

使用基本指令实现直流电动机减压起动能耗制动功能的参考程序（一）如图 5-87 所示。

2. PLC 控制的直流电动机减压起动能耗制动参考程序（二）

使用触头比较指令控制 Y1、Y2 输出。指令功能见表 5-9。PLC 控制的直流电动机减压起动能耗制动参考程序（二）如图 5-88 所示。

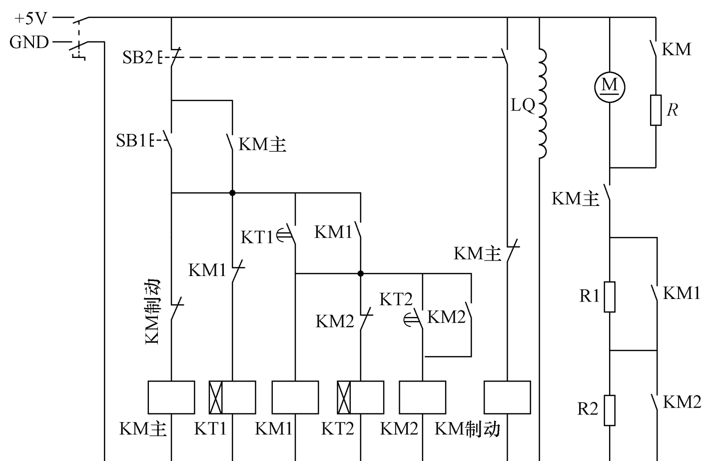
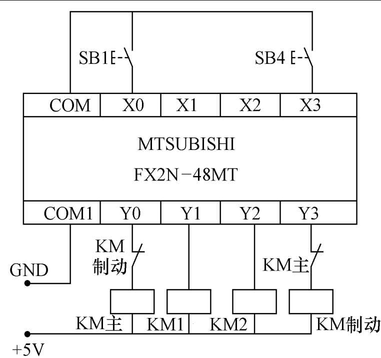


图 5-85　直流电动机减压起动能耗制动控制电路


输入/输出(I/O)地址分配表

输入	元件	功能	输出	元件	功能
X0	SB1	起动	Y0	KM主	主接触器
X3	SB4	制动	Y1	KM1	降压起动1
			Y2	KM2	降压起动2
			Y3	KM制动	制动接触器

图 5-86　PLC 控制的直流电动机减压起动能耗制动输入输出（IP）接线

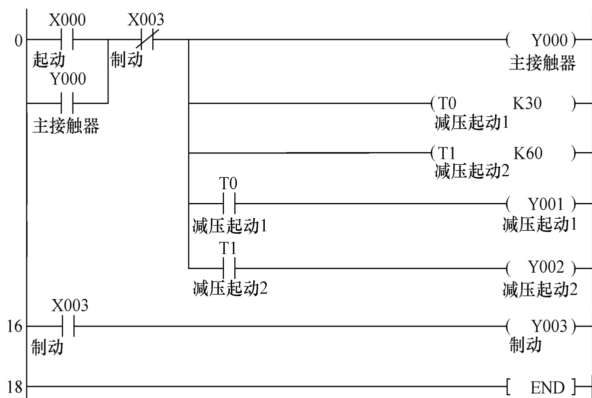


图 5-87　直流电动机减压起动能耗制动参考程序（一）

表 5-9　指 令 功 能

指令名称	助记符	操作数		导通条件	非导通条件	指令步数
		S1	S2			
触头比较指令	LD =	K，H，KnX，KnY，KnM，KnS，T，C，D，V，Z		［S1］ = ［S2］	［S1］ ≠ ［S2］	5 步
	LD >			［S1］ > ［S2］	［S1］ ≤ ［S2］	
	LD <			［S1］ < ［S2］	［S1］ ≥ ［S2］	
	> LD 大于、小于			［S1］ ≠ ［S2］	［S1］ = ［S2］	

（续）

指令名称	助记符	操作数		导通条件	非导通条件	指令步数
		S1	S2			
	LD≤			[S1] ≤ [S2]	[S1] > [S2]	
	LD≥			[S1] ≥ [S2]	[S1] < [S2]	
	AND =			[S1] = [S2]	[S1] ≠ [S2]	
	AND >			[S1] > [S2]	[S1] ≤ [S2]	
	AND <			[S1] < [S2]	[S1] ≥ [S2]	
	< AND 大于、小于			[S1] ≠ [S2]	[S1] = [S2]	
触头比较指令	AND≤	K，H，KnX，KnY，KnM，KnS，T，C，D，V，Z		[S1] ≤ [S2]	[S1] > [S2]	5 步
	AND≥			[S1] ≥ [S2]	[S1] < [S2]	
	OR =			[S1] = [S2]	[S1] ≠ [S2]	
	OR >			[S1] > [S2]	[S1] ≤ [S2]	
	OR <			[S1] < [S2]	[S1] ≥ [S2]	
	< OR <			[S1] ≠ [S2]	[S1] = [S2]	
	OR≤			[S1] ≤ [S2]	[S1] > [S2]	
	OR≥			[S1] ≥ [S2]	[S1] < [S2]	

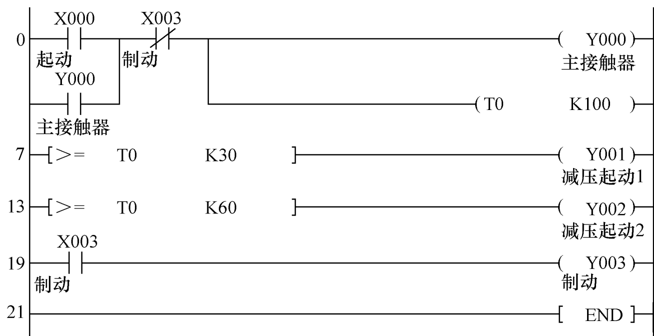


图 5-88　直流电动机减压起动能耗制动参考程序（二）

参 考 文 献

［1］ 周志敏，周纪海，等．电工上岗应试必读［M］．北京：电子工业出版社，2003．
［2］ 周志敏，周纪海，等．低压电器实用技术问答［M］．北京：电子工业出版社，2004．
［3］ 周志敏，周纪海，等．电工控制实用电路［M］．北京：电子工业出版社，2005．
［4］ 周志敏，纪爱华．农村用电设备运行实用技术问答［M］．北京：人民邮电出版社，2007．
［5］ 周志敏，纪爱华．可编程序控制器实用技术问答［M］．北京：电子工业出版社，2006．
［6］ 周志敏，周纪海，等．变频器—工程应用电路．电磁兼容．故障诊断［M］．北京：电子工业出版社，2005．
［7］ 周志敏，周纪海．变频电源实用技术——设计与应用［M］．北京：中国电力出版社，2005．

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术／电机

ISBN 978-7-111-39887-5
策划编辑◎林春泉／封面设计◎路恩中



定价：29.90元